



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO



DOCTORADO EN DISEÑO

**ESTUDIO AMBIENTAL PARA LA BIO RESTAURACIÓN DEL LAGO DE  
XICO, EN VALLE DE CHALCO, A TRAVÉS DE MICROORGANISMOS IN  
SITU.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**DOCTORA EN DISEÑO**

**P R E S E N T A**

**M. en D.E. Lucila Herrera Reyes**

**Director:**

Dr. Silverio Hernández Moreno

**Tutores adjuntos:**

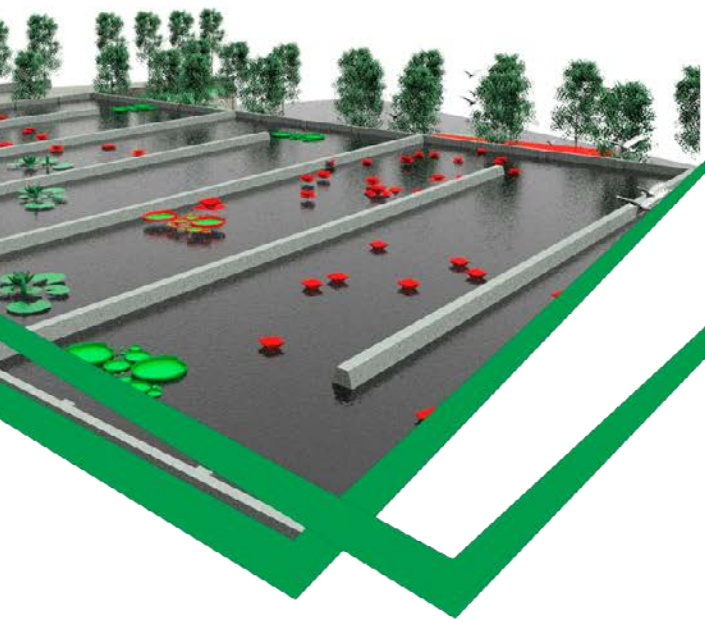
Dr. David Joaquín Delgado Hernández

Dr. René Lauro Sánchez Vértiz Ruíz

Dr. Ignacio Mendiola Germán

Dr. Raúl Calixto Flores

Toluca, Estado de México, abril 2017.



**ESTUDIO AMBIENTAL PARA LA BIO RESTAURACIÓN DEL  
LAGO DE XICO, EN VALLE DE CHALCO, A TRAVÉS DE  
MICROORGANISMOS IN SITU.**



# DEDICATORIAS

*A Jesús, María y Dolores por acompañarme  
en todo momento.*

*A mis padres **Cata** y **Lucy**, con infinito  
amor, son la luz de mi vida.*

*A **Roberto**, por tomarme de la mano, por compartir  
cada instante, por abrazarme y amarme como solo él sabe.*

*A **Pily**, **Armando**, y **Mansís** por ser únicos,  
por tolerar mis locuras, los amo.*

*A **Gaby** y a la familia **Sopeña** por tenerme  
siempre en sus oraciones.*

*A mis **hermanos** y mi familia cercana que siempre  
me impulsa para continuar, gracias por su apoyo:  
Tía **Geo**, **Mary**, **Geo** y **Clar**.*

*A los **Reyes** que siempre están con el mejor ánimo  
y actitud para vivir lo más hermoso de la vida en familia.*

*A Catita por tu invaluable compañía, por  
hacer que las cosas funcionen en casa.*

*A mis compañeros y hoy amigos **Claudio**, **Pepe**, **Gustavo** y **Camilo**  
por dedicar tiempo para compartir sus saberes.*

*A mis amigas de ayer, hoy y siempre: **Reyna**, **Vero**, **Irma**,  
**Erika**, **Ara**, **Ely**, **Caro**, **Nidia** y **Mel**, por todo lo vívido.*

*A todos mis amigos por estar en el momento más oportuno  
**Marco**, **Erick**, **Marisol**, **Elia Anita**, **Ramiro**,  
**Adrián**, **Lety**, **Jovita**, **Andrés** y a todos ellos que  
siempre me dieron palabras de aliento.*

*A mis preciosos hijos adoptivos  
**Bruno**, **Karina**, **Adrián**, **Sarahí**, **Mafe**, **Pao**, **Carlos**, **Vane**, **Regis**, **Isaac**  
y los que vienen, los incite a lograr éxitos todos los días.*

# AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Autónoma del Estado de México  
por abrirme las puertas de su casa en aras  
de la búsqueda del conocimiento.*

*A la Facultad de Arquitectura y Diseño por  
incitarme a continuar y aprender cada día.*

*Al Consejo Mexiquense de Ciencia y tecnología por  
el apoyo otorgado.*

*A la Universidad Autónoma Metropolitana  
por seguir cobijándome en su laboratorio.*

*Al Centro Universitario Valle de Chalco*

*Al comité de evaluación Dr. Silverio, Dr. David,  
Dr. Rene, Dr. Ignacio y Dr. Raúl, por su compromiso  
y dedicación en este proyecto.*

*A la empresa Rago S.A de C.V, en particular a los Ingenieros  
Amauri y Marco Antonio.*



## INDICE

I.RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN .....	4
II.IMPORTANCIA DEL PROBLEMA .....	6
2.1. Justificación .....	9
2.2 Objetivos .....	11
2.3 Hipótesis .....	11
III. SUSTENTABILIDAD HÍDRICA.....	12
Introducción.....	13
3.1 Estrés hídrico .....	15
3.1.1 Crisis mundial del agua.....	16
3.2 Deterioro ambiental .....	17
3.2.1 Xico el ombligo del mundo .....	18
3.2.2 Diseño para el ambiente.....	23
3.3 Marco normativo de calidad del agua.....	26
3.3.1 Marco legal .....	27
3.3.2 Marco institucional y de gestión de los recursos hídricos .....	28
3.4 Revisión de la literatura .....	31
3.4.1 Terminología básica.....	31
3.5 Humedales .....	34
3.5.1 Humedales artificiales.....	36
3.5.2 Tipos de humedales .....	38
3.5.3 Planificación para la restauración .....	39
3.5.4 Bio restauración .....	42
3.5.5 Educación ambiental para la sustentabilidad .....	49
IV. PROCESO METODOLÓGICO .....	52
Introducción.....	53
4.2 Diagnóstico circunstancial .....	54
4.1.1 Elementos del ambiente natural .....	55
4.1.2 Fisiografía .....	57

4.1.3 Geología.....	58
4.1. 4 Hidrología .....	59
4.1.5 Clima.....	60
4.1.6 Usos del suelo .....	61
4.2 Elementos del ambiente construido .....	64
4.2.1 Sociales .....	65
4.2.2 Económicos.....	66
4.2.3 Estructura urbana .....	67
4.3 Metodología .....	72
4.3.1 Área de influencia.....	73
4.3.2 Revisión y recopilación de datos .....	74
4.3.3 Trabajo de campo.....	74
4.3.4 Trabajo de gabinete.....	78
V. PROCESO DE DISEÑO.....	80
Introducción .....	81
5.1 Requerimientos de diseño .....	81
5.1.1 Requerimientos funcionales.....	81
5.1.2 Requerimientos ambientales.....	82
5.1.3 Requerimientos técnicos .....	82
5.1.4 Requerimientos estéticos y sociales.....	83
5.2 Diagrama de línea de componentes para el tratamiento .....	83
5.2.1 Criterios de diseño de la línea de tratamiento.....	84
5.2.2 Pre tratamiento .....	84
5.2.3 Tratamiento primario .....	87
5.2.4 Tratamiento secundario.....	91
3.2.5 Tratamiento terciario.....	100
5.3 Concepto de diseño .....	101
5.3.1 Formalización del diseño .....	101
5.3.2 Dimensionamiento del sistema de tratamiento de agua residual .....	102
5.3.3 Compuerta y rejilla principal .....	104
5.3.4 Diseño de rejilla de desbaste manual .....	105
5.3.5 Diseño y cálculo de trampa para grasas .....	107
5.3.7 Bomba centrífuga sumergible .....	110



5.3.8 Diseño de filtro con materiales pétreos.....	110
5.3.9 Canal vertedor tipo Parshal.....	111
5.3.10 Diseño de sedimentador.....	112
5.3.11 Pantalla difusora .....	119
5.3.12 Diseño de humedal artificial sub superficial híbrido .....	122
5.3.14 Laguna de maduración.....	133
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	136
6.1 Elementos fisicoquímicos .....	137
6.1.1 Estrategias de mitigación .....	153
6.1.2 Funcionamiento del acuífero .....	154
6.1.3 Proceso de ajuste de calidad del agua.....	154
6.1.4 Guía para la selección de procesos de tratamiento .....	155
6.1.5 Estadísticas que afectan a la población.....	156
6.2 Solución integral .....	158
6.2.1 Fases en la construcción de humedales híbridos .....	158
6.2.2 Planos técnicos.....	162
6.2.3 Diseño virtual.....	175
6.3 Estimación de costos.....	183
VII. CONCLUSIONES .....	186
VIII.PROSPECTIVA DE TRABAJO .....	192
IX. REFERENCIAS .....	194
X.- ANEXOS .....	201
XI.ABREVIATURAS .....	207
XI. LISTA DE TABLAS.....	208
XI.LISTA DE FIGURAS .....	209
XI. LISTA DE GRÁFICAS.....	211



## I.RESUMEN

*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad  
y la energía atómica: la voluntad”*

*Albert Einstein*

En la actualidad, el cambio climático y el estrés hídrico restringen la disponibilidad de agua en el mundo por lo que es importante tomar acciones que lleven a la recuperación de hábitats para un uso y manejo sustentable. Existen diversas tecnologías que aportan significativos avances en la protección al ambiente y en el tratamiento de ecosistemas que han sido presa de contaminación. Sin duda, la biotecnología, ponen en marcha una serie de estrategias que posibilitan mitigar los daños al entorno, una de ellas es el proceso de bio restauración que considera el uso de microorganismos para degradar las sustancias tóxicas, para este caso de estudio el uso de humedales artificiales híbridos. Si bien, no existe una tecnología única que sea capaz de revertir los daños sobre el ambiente ni que pueda cubrir los requerimientos de todas las necesidades del proceso, en este sentido, se propone para esta investigación una línea de componentes de tratamiento de agua, toda vez que cada proceso unitario tiene la capacidad de reducir contaminantes específicos. Así, el diseño de un humedal artificial se circunscribe como una tecnología que se configura en el objetivo de restaurar el sistema hídrico de San Miguel Xico, requerido por la normatividad de acuerdo a su uso. Asimismo, se describen las valoraciones de las características físicas y químicas del agua correspondiente a un ciclo anual de marzo de 2015 a marzo 2016, la caracterización se realizó mediante muestras simples y complejas, las muestras puntuales fueron analizadas en el sitio con un equipo de campo multi paramétrico portátil modelo HANNA 9812, las muestras compuestas se analizaron en laboratorio. Los resultados se compararon con la normatividad vigente para diferentes usos de acuerdo con el tipo de contaminantes detectados y sus concentraciones. Se concluye con el diseño de una línea de componentes para el tratamiento del agua a base de humedales artificiales de flujo sub superficial híbrido., por este método, se consigue una reducción importante en los contaminantes presentes, toda vez que algunos indicadores de contaminación no rebasan los límites máximos permisibles y se logra una restauración del ecosistema con una prospectiva sustentable.



## ABSTRACT

At present, climate change and water stress restrict the availability of water in the world so it is important to take actions that lead to the recovery of habitats for sustainable use and management. There are several technologies that contribute significant advances in the protection of the environment and in the treatment of ecosystems that have been contaminated. Without a doubt, biotechnology, they put in place a series of strategies that allow to mitigate the damages to the environment, one of them is the process of bioreactoration that considers the use of microorganisms to degrade the toxic substances, for this case of study the use of wetlands Artificial hybrids. Although there is no single technology that is capable of reversing damages to the environment or that can meet the requirements of all the needs of the process, in this sense, a line of water treatment components is proposed for this research. Each unit process has the capacity to reduce specific contaminants. Thus, the design of an artificial wetland is circumscribed as a technology that is configured in the objective of restoring the water system of San Miguel Xico, required by the regulations according to its use. Also described are the physical and chemical characteristics of the water corresponding to an annual cycle from March 2015 to March 2016, the characterization was performed using simple and complex samples, the point samples were analyzed on site with a field equipment Multi-parametric portable model HANNA 9812, composite samples were analyzed in laboratory. The results were compared with current regulations for different uses according to the type of pollutants detected and their concentrations. It concludes with the design of a line of components for the treatment of water based on artificial subsurface flow artificial wetlands; By this method, a significant reduction in the pollutants present is achieved, since some pollution indicators do not exceed the maximum allowable limits and a restoration of the ecosystem with a sustainable prospective is achieved.



## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se encuentra desarrollada a través de apartados, muestra por un lado una visión multidisciplinaria de la *importancia del problema*, que desglosa el concepto de diseño visto desde la complejidad, como creación y desarrollo en la solución restauradora en diversos escenarios constituidos por múltiples variables o factores, es así que el diseño se despliega como una nueva forma de expresión desde su propia naturaleza que es concebida y percibida por los distintos pensamientos e ideas del ser humano. Asimismo, señala el impacto de la naturaleza del proyecto a favor de la localidad y como fuente generadora de servicios ambientales, considera los objetivos que se desarrollaron para visualizar y proponer la tecnología para la restauración del sistema hídrico.

Asimismo, describe el escenario de la *sustentabilidad hídrica* como uno de los grandes retos ambientales que se debe enfrentar ante la problemática ambiental que se vive en la actualidad a nivel global y local, destaca la importancia de la recuperación de los sistemas hídricos como estrategia sustentable a partir de las diversas tecnologías que hacen posible la restauración de hábitats como lo son los humedales artificiales, propuestos a través del diseño de una línea de componentes de tratamiento de agua en el escenario de San Miguel Xico, en Valle de Chalco, en relación con la normatividad vigente.

Aborda el *proceso metodológico*, el área de influencia, asimismo explica las etapas que se desarrollaron para llegar a la propuesta de bio restauración, por un lado, detalla el trabajo de campo, a través de la toma de muestras puntuales en siete puntos del cuerpo de agua, la recolección de muestras complejas para su análisis en laboratorio y la búsqueda del estado del conocimiento para analizar la viabilidad del humedal, hace referencia al diagnóstico circunstancial del ambiente natural y del ambiente construido. Se detallan los resultados la calidad que presenta el cuerpo de agua señalando los parámetros realizados y la comparación con las normas oficiales.



Detalla el *proceso de diseño* de la línea de componentes para el tratamiento de agua en San Miguel Xico, señala los requerimientos técnicos y funcionales, así como el diagrama y los criterios de diseño establecidos, el cálculo de las dimensiones de los diferentes sistemas, *considerando un caudal de dos litros por segundo y la formalización del diseño.*

*Refiere los resultados y la discusión* a través de la solución integral del diseño de humedales artificiales híbridos, las estrategias de mitigación para el proceso de ajuste de calidad del agua, los planos técnicos y el diseño virtual. Finalmente se muestran las conclusiones del proceso de diseño obtenidos en el trabajo de campo y de gabinete y se discuten las características fisicoquímicas para el sistema, se observa la viabilidad de la propuesta a través del diseño de humedales artificiales y se aterrizan para diferentes escenarios con prospectiva sustentable. Al final de la obra, se encuentran los anexos, listas de abreviaturas, lista de tablas, listas de figuras y lista de gráficas.





## II.IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

*“Produce inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla,  
mientras el género humano no escucha”*

*Víctor Hugo*



El concepto de diseño, en la actualidad es visto desde la complejidad y su campo de acción se particulariza cuando es acompañado por otros términos que le dan su apellido, así se refiere al diseño industrial, al diseño urbano arquitectónico, al diseño ingenieril, al diseño gráfico, al diseño verde, al diseño para el ambiente, al diseño estructural, al diseño textil, al diseño artesanal, al diseño mecánico, al diseño de plantas industriales, al diseño sustentable, al diseño de procesos, y así la lista se puede extender a un sinnúmero de vocablos.

Es en la Revolución Industrial cuando se sentaron las bases para que el término diseño se comprendiera como un nuevo concepto cosmopolita, el diseño en boga se representa como innovación, creación y desarrollo en la solución renovadora ante diversos panoramas constituidos por múltiples variables o factores, es así que el diseño se despliega como una nueva forma de expresión desde su propia naturaleza que es concebida y percibida por los distintos pensamientos e ideas del ser humano.

La naturaleza del diseño se establece a través de una red de disciplinas que son producto de las diferentes interacciones que se expresan a partir de las ideas, de las formas, de las tendencias, de los colores, de los recursos, que los orienta a demostrar lo que sugiere la información de la naturaleza, parte de esta información es relativa a los temas de función, forma y material que son términos básicos en el esquema proyectual dirigido a mejorar y dar solución a los problemas técnicos y constructivos, que son parte del diseño visto desde su propia naturaleza.

En este sentido, el diseño visto de forma aislada dentro de una sociedad con diversas problemáticas socio-ambientales, denota que una sola área de conocimiento no ofrece las alternativas a las dificultades que se perciben, no obstante, buscar desde lo que está en cada área de oportunidad disciplinar, en lo que cruza, en lo que está detrás y más allá de las esferas de las disciplinas, conceden un papel valioso en la admisión de nuevos modos de producción de conocimiento y de información, mismos que desde su visión



pueden contribuir de forma asertiva ante las necesidades que demanda la sociedad en los escenarios ambientales vistos desde la complejidad.

El ambiente y el diseño revelan cuán importante es conocer la mezcla entre ambos conceptos, por un lado, el ambiente sirve para describir a la sociedad, la cultura, por lo que implica globalidad y desde la intimidad del diseño, muestra cómo plasmar, porque está formado desde el pensamiento, es decir, una práctica extensamente relacionada con todos los campos del saber, toda vez que desde la mirada del diseño es capaz de aportar elementos y esquemas a otras disciplinas.

Luengo (2012) considera que las disciplinas se fortalecen cuando existe un cruce, que va desde la intersección hasta el reconocimiento del encuentro con el conocimiento, de aplicarse en los límites de lo que se considera el objeto de estudio. De tal forma que el conocimiento incita a trabajar de manera disciplinar como a la interdisciplina y transdisciplina, si bien, no solo visto como una necesidad teórica, sino que se puede establecer en la práctica.

Al desmenuzar de forma constante los problemas para que estos sean atendidos por áreas de estudio, se ignora el contexto más amplio que da a las cosas su sentido y significado en su conjunto, así, la segmentación está permeando no solo a la ciencia y a la tecnología sino a la dimensión general de la realidad que poseemos como individuos en el ambiente del cual formamos parte.

De forma aislada se pretende enfrentar problemáticas parciales, siendo que estos se encuentran relacionados con un entorno en constante evolución que recibe los efectos negativos y positivos de las respuestas que se ofrecen a los problemas tratados de forma separada. La importancia de impulsar el diálogo entre las disciplinas como lo señala Bohm (1997), reside en la necesidad de formar redes con métodos multidisciplinares, para abordar las diferentes facetas de la realidad ante una problemática ambiental.



Desde esta perspectiva, abordar la problemática entre el diseño y el ambiente para la bio restauración de un ecosistema hídrico en las inmediaciones de San Miguel Xico, reitera en considerar que parte importante de la información que contiene la naturaleza del objeto de estudio y de la unidad de análisis, que se conjuga al determinar la interacción entre la variable dependiente que tiene que ver con el proceso de bio restauración, que implica el conocimiento no sólo del área biológica y ecológica, sino también, la suma de saberes tecnológicos y sociales, que se entrelaza con el estudio de impacto ambiental considerada como variable independiente.

Elementos clave que desde las diferentes disciplinas se logra reunir procesos, análisis, resultados e interpretaciones, relativos dentro del ámbito del diseño a los temas de función, forma y materiales, que son temas centrales en la tesis proyectual capaz de mostrar cómo dar solución a los problemas constructivos y técnicos, ya lo señala Vanden (2000), que para observar y extrapolar creativamente, la naturaleza es una fuente suculenta en procedimientos de diseño, para tomar decisiones en el ámbito de su desempeño.

## **2.1. Justificación**

La creciente contaminación de las aguas en sus diversas formas física, química y biológica ha ocasionado alteración al equilibrio ecológico y daños a la salud de los seres humanos y la falta de un manejo adecuado del sistema acuático representa un peligro (Moctezuma, 2011), por lo que es indispensable establecer condiciones de tratamientos amigables con el cuerpo de agua.

La bio restauración es un proceso el cual permite llevar a cabo la transformación de los agentes contaminantes del sistema utilizando como herramienta principal la misma naturaleza. Por lo tanto, el desarrollo de un diagnóstico ambiental y la solución integral de la línea de tratamiento I sugiere una restauración logrando una recarga en los acuíferos beneficiando el entorno, y permitiendo un área de prácticas originales



sustentables para los habitantes, como lo señala Hernández (2010) el diseño sustentable es la herramienta para crear proyectos que ayuden a la disminución del impacto ambiental, al ahorro de los recursos naturales y a la contribución del desarrollo sustentable de la región.

El presente trabajo tiene como propósito documentar, sistematizar y sustentar el diseño de una línea de componentes de tratamiento de aguas residuales, generadas en las inmediaciones de San Miguel Xico, así como los sectores de influencia, siendo un reto de importancia social, ambiental, y económica, enmarcado en la política de sustentabilidad y cuidado del agua calificada en la década pasada como un asunto de seguridad nacional, con una perspectiva de responsabilidad federal en la formulación de la agenda del agua 2030, la cual viabilizará robustecer una política de sustentabilidad hídrica, que se considera como prioritaria para el país y para el buen vivir.

En este sentido, la propuesta está orientada en el diseño para la construcción de un humedal artificial híbrido, como sistema complejo e integrado en los que tienen lugar las interacciones bióticas y abióticas (entre el agua, los vegetales, microorganismos, el suelo, la energía solar y el aire) cuyo objetivo es mejorar la calidad del agua para riego agrícola, áreas verdes, vida acuática, los servicios ambientales que puede proveer para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua, el diseño de paisaje y una educación ambiental para la sustentabilidad.



## 2.2 Objetivos

### General

Realizar un estudio ambiental para estructurar una propuesta de bio restauración a través de sistemas híbridos con humedales artificiales en el Lago de San Miguel Xico, Valle de Chalco, como parte de un estudio global de planeación regional con base en diseños ambientales.

### Específicos

- ✓ Realizar estudio ambiental para conocer el status hídrico a través de parámetros físico- químicos y biológicos.
- ✓ Identificar factores bióticos y abióticos del proceso de contaminación del lago de Xico.
- ✓ Analizar los procesos biotecnológicos que sean aplicables a la bio restauración del lago de Xico, a través del diseño de una línea de tratamiento hídrico.
- ✓ Estructurar la propuesta de bio restauración del lago de Xico, que coadyuve en las estrategias del plan de desarrollo urbano del municipio.

## 2.3 Hipótesis

Si se establecen las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de los componentes de la línea para el tratamiento en el lago de San Miguel Xico, entonces, se conocerán los indicadores necesarios para la bio restauración mayor a un 50% de los agentes contaminantes que prevalecen en el sistema lacustre a corto plazo.



### III. SUSTENTABILIDAD HÍDRICA

*La vida es muy peligrosa. No por las personas que hacen el mal,  
sino por las que se sientan a ver lo que pasa.*

*Albert Einstein*



## Introducción

En la actualidad la humanidad enfrenta uno de los grandes retos de tener acceso al agua limpia, se convierte en un recurso que en muchas regiones del mundo es un factor limitante (Carabias y Landa, 2005) para el ámbito de la salud, la producción de alimentos, el desarrollo industrial y el mantenimiento de los ecosistemas naturales, su diversidad biológica y trasciende en la estabilidad social y política.

El 70% del planeta está compuesto por agua, el 97.5 % es salina, el 2.5% es agua dulce, de esta el 68.9% se encuentra congelada, 30.8% se almacena en aguas subterráneas y poco menos del 0.3% es agua superficial que se ubica en lagos, lagunas, ríos y humedales (PNUMA, 2004; Shiklomanov y Rodda, 2003). Así, menos del 1% se encuentra disponible para el uso del ser humano y el sustento de los ecosistemas, (Figura 3).

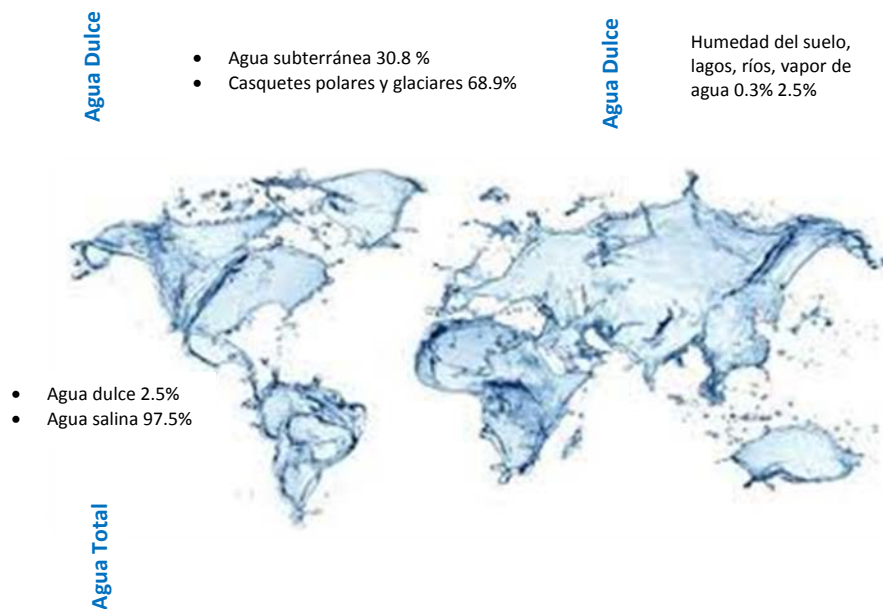


Figura 3. Distribución del agua en el mundo.  
Fuente: Datos PNUMA (2014).





Los diferentes biomas del planeta se distribuyen de acuerdo con la cantidad de agua en cada región, la temperatura, la humedad y los vientos, otro factor que influye es el tamaño de la población y los asentamientos desiguales en cada región, por lo que la distribución natural del líquido tiene como consecuencia (FPNU, 2004) que algunos países tengan una mayor disponibilidad del agua mientras que otras padezcan una severa escasez. Las naciones de mayor disponibilidad natural refieren a Canadá es una de las naciones con mayor disponibilidad natural del recurso y cuenta con 99 700 m<sup>3</sup>/hab/año, mientras que en México la disponibilidad del agua fue estimada para el (2004) con 4 500 m<sup>3</sup>/hab/año.

Si bien, los problemas actuales relacionados con el uso del agua son diversos y severos a nivel global, siendo crítica para muchas regiones, la calidad es inadecuada, los servicios son insuficientes, la inversión no cubre los rezagos y tampoco para cubrir la demanda creciente, así, las actividades productivas compiten por el agua, asimismo el cambio climático incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas, de las personas y se refleja como una crisis hídrica.

A pesar de los esfuerzos por atender y resolver las problemáticas relacionadas con el agua, han sido insuficientes y el panorama no es alentador, toda vez que los índices de crecimiento en la población a nivel mundial se estima que para mediados de este siglo se sumen al actual otros 3 000 millones de personas que reclamarán agua y servicios de recolección de aguas negras, asimismo la producción de alimento se duplicaría lo que resultaría en inversiones considerables, y, resulta importante que se prevé para el año 2050, que aproximadamente el 60% de la población mundial subsistirá en escenarios de estrés hídrico (Carabias, Landa, 2005).

La escasez del agua traducida como la falta de suficiente riqueza hídrica para satisfacer las demandas que día con día reclama la población a nivel global, observando carencias más excelsas en el ámbito local.



### 3.1 Estrés hídrico

El término de estrés hídrico se le reconoce a Falkenmark y Widstrand (1992), estos investigadores utilizaron un índice de acuerdo con el cual una población con más de 1 700 m<sup>3</sup>/hab/año no presentará dificultades de disponibilidad, entre 1 700 y 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año sufrirá periodos de escasez, empero, si este valor es menor de 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año, se tendrá escasez de agua y el recurso se convertirá en un factor limitante del desarrollo de las actividades humanas, si se presentan valores de menos de 555 m<sup>3</sup>/hab/año se observaría un estado de escasez absoluta.

El tema del agua es complejo y resulta urgente definir prioridades en los ecosistemas marinos y continentales, existe la necesidad de abordarlos con un enfoque integral que puedan subsanar y resolver problemas. Algunas de las estrategias que se impulsan tienen que ver con la necesidad de una cooperación regional para cuencas, la promoción de reformas legales y el establecimiento de políticas sobre el recurso.

Asimismo, es importante la participación comunal, el desarrollo técnico y metodológico, la definición de precios reales del servicio de provisión del agua, inversión para el saneamiento, la protección de los ecosistemas acuáticos, así como la suma de los esfuerzos para la prevención y/o recuperación de los ecosistemas acuáticos y la remediación de sus aguas.

México no es la excepción en demandar el recurso vital para satisfacer las necesidades de su metrópoli, se encuentra entre los once países con mayor población con cerca de 130 millones de habitantes, y cerca de 25 millones en el área metropolitana y conurbada de la ciudad de México y el Estado de México, y que en materia de agua enfrenta uno de los mayores retos para la gestión del agua. Toda vez, que el incremento en su urbe lo coloca como uno de los países susceptibles de padecer la falta de agua en niveles alarmantes.



Datos de INEGI (2016), señalan que cuenta con 3.776 m<sup>3</sup> de agua por persona por año, además la mala calidad del agua, la distribución desigual, su ubicación geográfica sobre todo al norte del país lo ubica como una zona de riesgo, no así la parte sureste y centro, que sin duda con factores como la infraestructura y el manejo poco adecuado hacen que su disponibilidad se vea obstruida.

### 3.1.1 Crisis mundial del agua

Estimaciones de Shiklomanov y Rodda (2003); PNUMA (2004); OMM (1997) y OMS (2000) coinciden que en un futuro cercano 2025 se utilizará aproximadamente el 40% del agua y el consumo se incrementó seis veces en el siglo XX, lo que declinó en competencia en diversas regiones y actividades. Asimismo, cerca del 40% vive en estrés hídrico en niveles de moderado a severo, así como la sexta parte de la población no tiene acceso al agua potable y carece de saneamiento.

El uso de agua per cápita en países avanzados aproximadamente entre 500 y 800 litros/día, es ocho veces mayor que en países emergentes entre 60 y 150 litros/día. La escasez también es otro factor que se observa como consecuencia de la contaminación hídrica. Entonces, se estima que en países subdesarrollados el 90% de las aguas residuales se vierten a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo, lo que deviene en severas complicaciones para la salud con 80% de enfermedades gastrointestinales.

Los usos del agua en diversas actividades se ocupan en un 70% para el riego, sin embargo, más del 50% se pierde por fugas y por técnicas inapropiadas. Sin duda, el uso constante de pesticidas degrada la calidad del agua en zonas agrarias. Los ecosistemas acuáticos a nivel mundial se han perdido y con ello se perturban los ciclos hidrológicos y sus funciones de equilibrio ambiental, aunado a la presencia de organismos de flora y fauna que no pertenecen al sistema y alteran la dinámica del cuerpo de agua.



Un fenómeno más se integra a esta lista de indicadores que dan cuenta de la crisis del agua, el cambio climático que ha incrementado la vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos, con consecuencias para la población ante la presencia de inundaciones, pero también por sequías. El panorama no es alentador y se deben impulsar estrategias que mitiguen los impactos en el agua por fenómenos naturales y antrópicos.

### **3.2 Deterioro ambiental**

En la actualidad se perciben distintos ecosistemas acuáticos o terrestres que son presa de la contaminación por pesticidas, detergentes, grasas, combustibles y residuos en general, esta problemática se refleja en daño a los componentes naturales y se observa la reducción de especies y un nivel de vida empobrecido.

Los ecosistemas son sistemas dinámicos, que están formados por comunidades naturales y su ambiente físico. Sin embargo, el mundo natural está sujeto a cambios de naturaleza propia y modificaciones hechos por el ser humano que operan en escalas de tiempo: corto, mediano y largo plazo.

Algunos ejemplos son las alteraciones climáticas de influencia geográfica como la corriente de El Niño, ejerce fuerza sobre los ambientes marinos y provoca la muerte de los arrecifes de coral y afecta los ecosistemas terrestres alterando los patrones de precipitación. Junto con el bosque tropical, los arrecifes de coral son los ecosistemas más importantes del planeta y una de las formas más antiguas de vida. Los ecosistemas nos permiten interactuar con ellos; sin embargo, nuestras acciones impropias nos llevan a alterar el ambiente que nos rodea ensuciando playas, bosques y lo que hay alrededor nuestro.

A las modificaciones que los seres humanos y la naturaleza ejercen sobre el ambiente se les conoce como impacto ambiental (Mihelcic, 2012). El impacto ambiental generado en una determinada área trae consigo efectos positivos y negativos, estos efectos pueden



clasificarse dependiendo de su naturaleza en sociales, económicos, ecológicos, tecnológicos y culturales. Para entender la dinámica que se establece en la relación del ambiente y los seres humanos, se debe analizar que las relaciones establecidas son de orden histórico entre las sociedades y el uso de sus recursos, así cualquier actividad por pequeña que se manifiesta, implica una actividad social.

Las formas de vida vigentes, sobre todo hablando de los grupos sociales de un contexto determinado, han deteriorado el ambiente, muchas veces de manera irreversible. Esto afecta la calidad de vida de la mayor parte de los seres humanos, y de los grupos sociales menos favorecidos, por lo que es importante considerar el papel que desempeña la cultura como elemento mediador entre las actividades económicas y los procesos ambientales. Los impactos económicos determinan las formas de aprovechamiento y el uso de los recursos naturales y, a su vez estos recursos, de acuerdo con sus características, definen en cierta medida las actividades y acciones de los seres humanos.

Finalmente el concepto de impacto ambiental maneja otros términos de forma integral que enriquecen el propio significado de él, de esta forma, se comprende el concepto de impacto ambiental como la modificación o alteración significativa del medio ambiente, positiva o negativa que provoca sobre el ambiente como consecuencia directa o indirecta de acciones antrópicas susceptibles de producir cambios que afecten la salud, la capacidad productiva de los recursos naturales y los procesos ecológicos esenciales.

### 3.2.1 Xico el ombligo del mundo

La historia humana se encuentra íntimamente ligada al uso de los recursos, como consecuencia la alteración y cambio en el ambiente. Desde los patrones de migración hasta los asentamientos de los antepasados estaban orientadas por la disponibilidad de los recursos más esenciales como el agua y la tierra para el cultivo.



Los pueblos que se posaron en la cuenca de México antes de la conquista española, sobre todo para los mexicas de Tenochtitlan y Tlatelolco, el agua era fuente de vida que integraba todas las dimensiones de la misma existencia: espiritual, ambiente, economía, transporte, alimentación y estrategia militar (Perló y González, 2005). En esta época predominaba un paisaje acuoso formado por cinco grandes lagos, en tiempo de precipitación se unían formando uno solo y en tiempo de estiaje se apartaban: al norte Zumpango y Xaltocan, al centro Texcoco, y Chalco y Xochimilco al sur. Año con año este sistema hídrico en su complejidad variaba en extensión y en profundidad, de aguas someras, entre uno y cinco metros, así en el poderío azteca como señala Valek (2000) ocupaban un plano entre 1 500 y 2 000 km<sup>2</sup>. Lo que significa una quinta parte de la superficie total del Valle.

Para el arquitecto Legorreta, este Valle en sus tiempos de gloria y esplendor y en relación con aspectos hidráulicos en la práctica cotidiana de la ciudad, esboza, que la base histórica y arqueológica puede representarse y derivar en lo idílico o mitológico (Figura 3.1) sobre la armonía de un ambiente lacustre perdido:

“La Gran Tenochtitlán fue una ciudad sobre el agua con avanzadas tecnologías para controlar sus niveles y reciclar sus desechos. Así fue de notable el respeto por la naturaleza. Pero con la violenta llegada de la cultura europea, la situación cambió. El conocimiento profundo, el manejo adecuado y el dominio integral que tenían nuestros antepasados sobre el agua, nunca fueron entendidos por los hombres de a caballo...”  
(Legorreta, 1997 p 4).





Figura 3.1. La gran Tenochtitlán. Recreación artística de Filsinger.  
Fuente (2005).

Si bien la cultura mexicana enfrentó diversas inundaciones que destruían a su civilización, sin embargo, las estrategias ante estos hechos nunca pusieron en duda el aprovechamiento de los lagos y bastó su ingeniería para la construcción de diques que protegieran la gran Tenochtitlán así lo asumió Nezahualcóyotl en 1449, siendo el principal propósito las crecidas de los lagos de Zumpango y Texcoco que anegaban el lago central.

Sin duda, se suman a esta idea diversos ejemplos que hacen posible comprender como la tecnología prevalecía en otros tiempos cuyo principio fue la coexistencia e interacción en armonía entre la cultura y el agua frente a misticismos entre la vida y la muerte. La cuenca del valle de México está rodeada por las serranías occidental, oriental, el Chichinautzin y el eje neo volcánico transversal, como resultado de un proceso tectónico, acaecido entre la placa de cocos y la placa norteamericana, esta composición geológica permite las condiciones de permeabilidad, favorables para el desarrollo de los principales acuíferos y sistemas lacustres, dando pie a la zona lacustre del valle de



México, conformada en un principio por cinco principales lagos (Figura 3.2) ya referidos (Camarillo, Maurer y Ulacia, 2004).

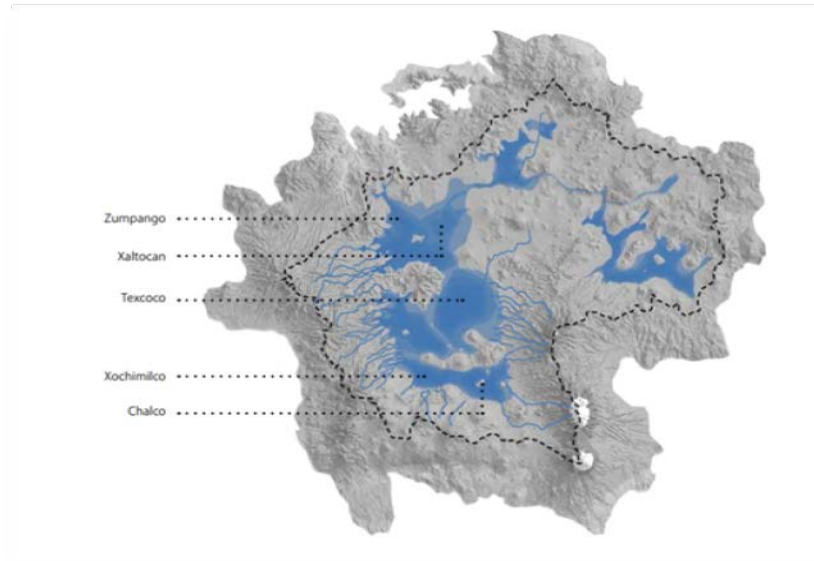


Figura 3.2. Geografía de la cuenca del Valle de México.

Fuente: Recuperado de: <http://www.agua.unam.mx/>

Con la fundación del lago de Texcoco en 1325, la llegada de los conquistadores españoles, el asentamiento de los Xochimilcas en 1900 (Serrano 2008), y el constante crecimiento poblacional dieron paso a la fundación y establecimiento de Valle de Chalco, constituido en un principio por los chalcas, denominado hoy como valle de Chalco solidaridad, este fungió como el último de los lagos ocupando una superficie de 43.63 km, localizado al oriente la ciudad de México, en la zona baja que limita al norte con los municipios de Ixtapaluca, San Vicente Chicoloapan y Los Reyes.





Chalco fue el lugar donde los comerciantes llegaban para intercambiar semillas, frutos, ropas y ornamentación con poblaciones más lejanas como el hoy municipio de Ozumba de álzate ubicado en el oriente del estado de México. Esta pequeña isla del lago se localizaba junto al cerro del Marqués, Xico (Figura 3.3) en lengua náhuatl significa ombligo y se atribuye este nombre gracias a la formación del cráter en el cerro, este lugar en años posteriores sería uno de los centros regionales más importantes de la zona centro (Sugiura, 2005).



Figura 3.3. Xico el ombligo del mundo.

Fuente: Recuperado de <http://coordinadoralibre.mx/p/xico-valle-de-chalco.html>

Actualmente Xico, forma parte de la ciudad que se edificó a partir de los años 70s en las partes bajas de su entorno, en el Valle que emergió a partir de la desecación del antiguo lago de Chalco en la década de los años 60s y que se convirtió en un gigantesco laboratorio social que nos permite estudiar y conocer la dinámica del desarrollo social, política, económica y cultural de la población de nuestro país, a partir de las grandes migraciones y reacomodos en las zonas urbanas.



Estos cambios y transformaciones no han sido fáciles, ya que se da un choque entre dos medios sociales: el rural y el campesino o ganadero, estos últimos buscan mantener sus raíces con una herencia cultural indígena. Sin embargo, en Xico se realizan actividades económicas ya sea de manera autóctona o utilizando medios tecnológicos.

### 3.2.2 Diseño para el ambiente

Para conseguir la integración de factores ambientales desde los inicios del proceso de diseño, se reconoce una técnica llamada diseño para el medio ambiente cuyo objetivo es diseñar productos y procesos eficientes desde una visión ambiental, asimismo, sin dejar de lado la calidad, los servicios y los costos, (Allembly, 1999). El diseño para el medio ambiente, se integra dentro de una metodología o sistema de diseño más amplio o complejo orientado a la excelencia del mismo, considerando los intereses de los individuos, que pueden interaccionar con el servicio, en este caso con los servicios ambientales que provea el sistema de San Miguel Xico.

De esta manera, el diseño para el medio ambiente, por un lado, ofrece alternativas que incluye diferentes técnicas, que han sido abordadas en esta investigación, desde la observación del problema de estudio guiada a una estrategia de solución con impacto positivo para la población. El diseño de pruebas, el diseño para el servicio, el diseño que facilita la inclusión de los factores ambientales, en las pruebas y monitoreo del ecosistema acuático para conocer el estatus que guarda con respecto a la contaminación del agua.

Si bien el diseño para el medio ambiente se puede perfilar desde un objetivo específico o estudio de caso, que implica etapas para establecer objetivos, y lograr los procesos, así como la obtención y análisis de datos para evaluar el diseño, realizando mejoras o cambios que conlleven a optimizar los resultados. La evaluación ambiental para este proyecto se establece desde el monitoreo, la identificación de contaminantes y la comparación dentro de la norma oficial mexicana SEMARNAT/1997, y las



consideraciones de los resultados obtenidos a lo largo del ciclo anual en la toma de muestras.

Considerar la preocupación por el ambiente, es un tema de actualidad, la necesidad de resguardar ecosistemas para el aprovechamiento en el presente y hacia las futuras generaciones, se acelera la necesidad de transformar los sistemas de producción y consumo, de tal forma que puedan ser asemejados a los sistemas biológicos o resilientes, es entonces desde esta perspectiva, de optimizar los recursos existentes, reduciendo en volumen los residuos y la contaminación que se asocia a los procesos de producción.

Es así que el diseño para el medio ambiente que surge como una técnica dentro del diseño, hace posible conseguir cambios, a través de un proceso sistemático considerando el ambiente dentro del desarrollo de diferentes procesos y productos, que reúne los criterios necesarios para evitar a gran escala un daño dentro de los servicios ambientales.

De ahí, que un ecosistema hídrico en proceso de restauración ecológica es capaz de suministrar a la población una gran e importante gama de servicios ambientales gratuitos de los cuales dependemos, tales como el mantenimiento de la calidad del aire como regulador natural del clima, el mejoramiento de la calidad del agua a través del control dinámico de los ciclos hidrológicos, incluyendo, las desventajas que trae consigo el cambio climático como fenómeno universal con la presencia de fuertes lluvias con consecuencias de anegaciones que ponen en riesgo la vida de los habitantes, como sucedió en Valle de Chalco en 2010, con el desbordamiento del canal general.

También la presencia de sequías sobre todo que se observan en la parte norte de México, la protección de las áreas como reservas ambientales, las zonas costeras, las zonas de humedales, la conservación de arrecifes de coral, los bosques y las dunas de arena. Para todo ello se exige la generación y conservación de suelos fértiles, de cauces



de agua, así como el control de vectores por el uso inadecuado de pesticidas que provocan enfermedades a los seres humanos, a la flora, a la fauna, al aire y al agua.

No obstante, en la actualidad se busca conservar los ecosistemas en el mejor estado posible para que siga brindando los servicios ambientales que de ellos dependemos. Desde esta mirada el agua en continuo movimiento del océano a la tierra y de vuelta en un ciclo sin fin, puede cambiar de un estado a otro debido a las temperaturas y presiones existentes en la superficie de la tierra, así que el agua va de un lugar a otro entre puntos importantes de la biosfera, hidrosfera, atmósfera y la tierra sólida, este movimiento constante es conocido como ciclo hidrológico y es esencial en la dinámica en los distintos ambientes acuáticos y terrestres. (Figura 3.4).



Figura 3.4. Lagunas Tláhuac-Xico  
Fuente: Propia (2015).

Los ecosistemas terrestres y acuáticos cumplen una función dentro del sistema y es la complejidad, como lo resume Leff (2005) considera que el ambiente se representa como el campo de externalidad de la racionalidad económica que se revela en la degradación ambiental, retomando al autor, en esta época donde la economía disfrazada de



ecologista en el imaginario de preservar la historia y salvaguardar el ambiente, se oculta el sentido del mundo y de la vida de producción, y desde este panorama, la naturaleza se vuelve objeto, ha sido cosificada y desnaturalizada desde su complejidad y transformada en materia prima de un proceso absolutamente económico.

### **3.3 Marco normativo de calidad del agua**

La UNESCO (2014) revela la disminución de los suministros de agua subterráneos y se estima que un 20 % de los sistemas hídricos del planeta están sobreexplotados, algunos en condición crítica. A nivel mundial, se reflexiona que las extracciones de agua dulce superficial y subterránea, se han elevado alrededor de un 1 % por año desde finales de la década de los ochenta, casi exclusivamente en los países emergentes.

La extracción anual de agua dulce se considera estable y en la mayoría de países desarrollados ha disminuido, lo que sugiere mejoras en la eficiencia de uso, pero también una creciente dependencia y demanda de la importación de productos con un alto consumo de agua, (Gleick y Palaniappan, 2010).

La ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente, expone las normas preliminares y reglamentarias de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se constituyen a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, (DOF 05-11-2013) en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho a toda persona a vivir en un ambiente sano para su desarrollo y bienestar.

Por otro lado, la Norma ISO 14046 en materia del agua es fundamental en la construcción de estrategias hacia la sustentabilidad en materia de agua y de seguridad alimentaria. La necesidad apremiante de reestablecer los flujos de agua de corriente y de cuerpos de agua estancados a través de la diversidad de programas y estrategias para



su conservación son oportunas para lograr un equilibrio ecológico en los ecosistemas acuáticos.

Asimismo, la EPA (La Agencia de protección al ambiente de Estados Unidos) efectúa programas reglamentarios y voluntarios para cumplir con su misión de proteger las aguas de la nación. La misión EPA es la de proteger la salud de los humanos y la del medio ambiente. Desde 1970, ha estado trabajando por un ambiente más limpio y más saludable.

El agua como recurso necesario y vital para la supervivencia, toma un papel relevante en todas las actividades que ejerce el ser humano. La importancia de un marco normativo que regule el uso, observe la disponibilidad del recurso, y al mismo tiempo se relacione con la calidad del agua y la prevención de impactos que puedan ser generados en los reservorios de agua superficial o subterránea.

Con el propósito de observar indicadores de calidad del agua se debe tomar en cuenta la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST). Atendiendo las normas NOM-001-SEMARNAT-1996: que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-SEMARNAT-1996: que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales excepto las domésticas, a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

### 3.3.1 Marco legal

El marco legal regula en materia de aguas en México está básicamente representado como se muestra en la Figura 3.5:



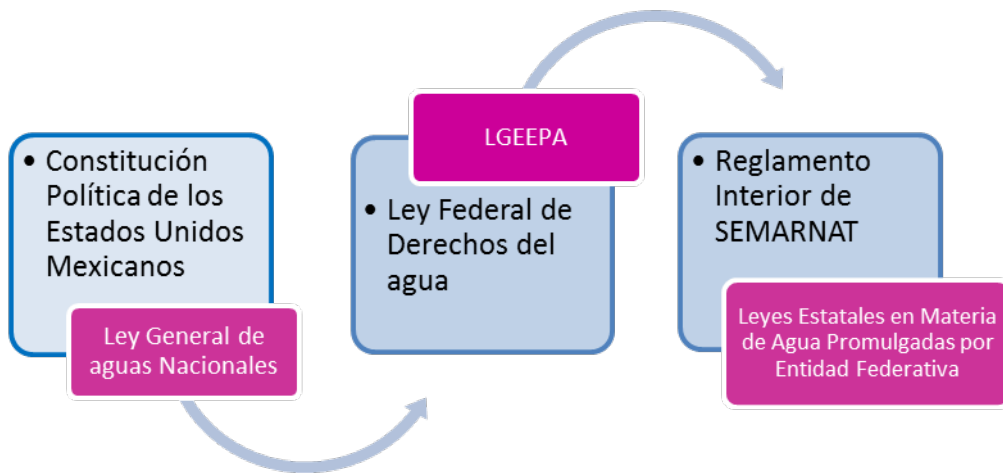


Figura 3.5. Esquema del marco legal en materia de agua  
Fuente: Propia, con datos de la CONAGUA (2015).

La Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos refiere en el artículo 27 que corresponden a la nación la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional. Asimismo, en el artículo 115, señala que los Estados adoptarán, para su régimen interior, y destaca en la tercera sección inciso a: que los municipios tendrán a su cargo las funciones como el agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales.

Por otro lado, a Ley de Aguas Nacionales, manifiesta en Artículo 1 en materia de aguas nacionales de acuerdo con el diario oficial de la federación: (DOF, 2008) (Ley de aguas nacionales, 08-06-12), (DOF 25-08-2014), tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable (Figura 3.6).

### 3.3.2 Marco institucional y de gestión de los recursos hídricos







Figura 3.6. Marco Institucional y de gestión hídrica  
 Fuente: propia adaptado del DOF 25-08-2014

La ley federal de derechos en materia de aguas nacionales emitido por la CONAGUA (2014), menciona los derechos por la prestación de los servicios en los diferentes sectores, agrícola, ganadero y desarrollo rural, así como los servicios relacionados con el agua y los bienes públicos inherentes y de los cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales.

Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al ambiente expone las normas preliminares y reglamentarias de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se constituyen a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, (DOF 05-11-2013) en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho a toda persona a vivir en un ambiente sano para su desarrollo y bienestar.





Es importante señalar que en el artículo 15 refiere que, en el ámbito de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, se debe observar los siguientes principios:

I.- Los ecosistemas son patrimonio común de la sociedad y de su equilibrio dependen la vida y las posibilidades productivas del país;

II.- Los ecosistemas y sus elementos deben ser aprovechados de manera que se asegure una productividad óptima y sostenida, compatible con su equilibrio e integridad; así como,

XVI.- El control y la prevención de la contaminación ambiental, el adecuado aprovechamiento de los elementos naturales y el mejoramiento del entorno natural en los asentamientos humanos, son elementos fundamentales para elevar la calidad de vida de la población.

Bajo esta mirada de normativa mexicana, las leyes que exponen en materia de ambiente, señalan la importancia de resguardar y considerar los ecosistemas como eje integral en el conjunto de elementos naturales y contruidos que hacen posible la existencia, convivencia y desarrollo de los seres humanos en interacción con la biota que interactúan en un contexto determinado.

Asimismo, el aprovechamiento sustentable que se establece con la recuperación y/o preservación de sistemas terrestres y acuáticos respetando la capacidad de carga que se sustente en el tiempo., orientado al uso de herramientas como la educación ambiental en el cambio de hábitos que facilite la percepción integrada del ambiente, cuyo propósito es observar conductas y comportamientos racionales en favor del medio y de la sociedad.



### 3.4 Revisión de la literatura

Uno de los principales problemas socio-ambientales que enfrenta la humanidad es la contaminación del agua, la carencia de servicios de agua potable y saneamiento es un factor de pobreza e inequidad y también de riesgo para la salud y la población. Es significativo cuando las comunidades gozan de salud y bienestar al contar con buenos servicios, lo que reduce de forma específica la morbilidad y mortalidad.

La ciencia y la tecnología en el marco de desarrollo por un mundo mejor, en materia de agua y tratamiento de las mismas, implica un reto de acuerdo con los diversos procesos que se adoptan para sugerir un modelo o una técnica que coadyuve en el mejoramiento de espacios acuáticos contaminados.

Las siguientes líneas esbozan la terminología básica entorno a la naturaleza de la propuesta de esta investigación.

#### 3.4.1 Terminología básica

**Diseño:** es un proceso de creación visual con un propósito, que cubre exigencias prácticas, (Wucius-Wong, 2012:41).

**Diseño ambiental:** Diseño y distribución del medio físico del ser humano mediante la ingeniería, la arquitectura del paisaje y el planeamiento urbano. Permite enriquecer los espacios o escenarios a través de la estética, la forma y la función, creando una mejora en la relación entre el ser humano y los lugares que habita y frecuenta, (Allembly, 1991).

**Ambiente:** El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados, (LGEEPA, 2016:2).

**Contaminación:** La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico, (Ibídem, p 3).



**Contaminante:** Toda materia o energía, en cualquiera de sus estados físicos y formas que, al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural altere o modifique su composición o condición natural, (Ídem).

**Aguas crudas:** Aguas residuales sin tratamiento (Ídem).

**Aguas grises:** Las aguas grises son aguas provenientes de las lavadoras, regaderas, tinas y lavabos. Son aguas residuales que tuvieron un uso ligero, que pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas (Allen, 2015:2)

**Aguas negras:** Aguas de desecho que llevan orina, materia fecal y otras sustancias biológicas fuertemente activas (afluentes de los sanitarios y basureros) (De la Lanza et al. 1999).

**Aguas residuales:** De composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, comerciales, industriales, de servicio agrícolas, pecuarios, domésticos y de cualquier otro uso incluyendo la mezcla de estas (SEMARNAT, 2014).

**Aguas residuales industriales:** Originadas por procesos de desechos industriales o manufactureros, y debido a su naturaleza pueden contener además de los componentes mencionados en las aguas domésticas, componentes tóxicos tales como plomo, mercurio, cobre, grasas, solventes y otros que requieran ser removidos en vez de ser vertidos en el sistema de alcantarillado, (Ídem).

**Aguas residuales domésticas:** Proviene de inodoros, regaderas, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (por lo general materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes (en especial nitrógeno y fósforo) y organismos patógenos, (CONAGUA, 2009)



**Aguas residuales tratadas:** Son aquellas que, mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público (NOM-003-ECOL-1997).

**Sistemas de tratamiento de aguas residuales:** Consiste en una línea de procesos físicos, químicos y biológicos cuyo principal objetivo es eliminar los contaminantes presentes en cuerpos de agua. La idea central al cubrir estos procesos es utilizar el agua tratada para un fin en particular, de igual forma, estas aguas pueden ser tratadas dentro del espacio donde han sido generadas a través de tanques sépticos o medios de depuración, o bien, pueden ser transportadas a través de un sistema de tuberías, hacia una planta de tratamiento. Hoy en día existen diversos procesos y tratamientos para mejorar la calidad del agua. En este sentido las siguientes líneas expondrán para esta investigación una línea de proceso: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

**Pre-tratamiento:** Es un procedimiento destinado a la preparación de las aguas residuales para su deposición o tratamiento subsecuente, cuya finalidad es la remoción de elementos del agua que impidan el manejo adecuado, operacional y de mantenimiento, (Crites y Tchobanoglous, 2000). En este proceso preliminar se lleva a cabo la operación de desbaste o cribado que controle de manera manual el caudal y permita separar los sólidos de gran tamaño, un desarenado (extracción de grava y arena), así como la separación de aceites y grasas, haciendo eficiente el proceso de forma continua y con un caudal constante, (Kuklinski, 2011).

**Tratamiento primario:** En esta línea del proceso físico, se constituye en sedimentar entre 50 y 70% de sólidos suspendidos, asimismo se considera la reducción de niveles de DBO aproximadamente entre un 30-45%, este paso y de acuerdo a la literatura también señala la remoción de sólidos coloidales y metales pesados. En este rubro se requiere de



componentes como el sedimentador primario que será abordado en la solución integral de la sección de resultados.

**Tratamiento secundario:** Utiliza métodos biológicos aerobios para oxidar y degradar compuestos orgánicos, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto) a través de microorganismos presentes en las aguas residuales y el complemento con plantas macrófitas que menciona Kuklinski, (2011), en este caso para la propuesta a partir del uso de humedales artificiales híbridos.

**Tratamiento terciario:** Se emplea para eliminar agentes patógenos de los efluentes del proceso de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua. En el presente proyecto se contempla una laguna de maduración que tendrá como objetivo principal reducir la concentración de bacterias patógenas; generalmente esta línea de proceso es el último paso del tratamiento antes de volcar las aguas tratadas en los receptores finales o de ser reutilizadas en la agricultura, o para un uso distinto de acuerdo a la normatividad.

### 3.5 Humedales

Son espacios de transición entre ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres, funcionan como enlace dinámico entre ambos sistemas. La Ley Federal de Aguas Nacionales define a los humedales como la constitución de áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos, (DOF, 2016:4).



Los humedales son áreas donde el agua es un factor esencial que controla el ambiente, así como la vegetación y fauna asociada. Se localizan donde la capa freática se encuentra en o cerca de la superficie del terreno o donde el terreno está cubierto por agua, (Figura 3.7).



Figura 3.7. San Miguel Xico, Valle de Chalco.  
Fuente: Propia (2016).

El movimiento del agua es de arriba hacia abajo del gradiente del humedal, confronta una variedad de componentes químico y físicos en solución y pueden presentarse como detritus o sedimentos. Existen dos líneas críticas que dominan el rendimiento en el tratamiento de los humedales y es la dinámica microbiana y la hidrodinámica. Los primeros son importantes en la remoción de algunos nutrientes, así como en la renovación de las aguas residuales, estos provén sumideros de nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos (Llagas y Guadalupe, 2006).

En este sentido, la importancia de un humedal artificial para simular uno natural, cuyo propósito es tratar las aguas contaminadas. Estos humedales logran tratamientos



significativos a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacterial, interactuando con la atmósfera. El principal atributo y las funciones de estos humedales es respaldar el equilibrio ecológico y ambiental a nivel global ya que se consideran hábitats y nichos de diferentes especies de flora y fauna y como elementos vitales en la estructura ambiental, social y económica.

Asimismo, estos ecosistemas hídricos son estratégicos para la conservación de la diversidad biológica, se les confiere un elevado potencial antidepurador, altos beneficios en la calidad del agua, el hábitat y para el bienestar de los seres humanos, por lo que es importante llevar a cabo acciones que aseguren el mantenimiento y condiciones ecológicas de estos cuerpos de agua.

### 3.5.1 Humedales artificiales

**Humedales artificiales:** en adelante (HA), como sistemas diseñados y construidos para aprovechar los procesos naturales que comprenden plantas macrofitas, un medio filtrante y comunidades microbianas en el tratamiento de aguas residuales, Vymazal (2005).

En 1950 Käthe Seidel, experimentó en Alemania con plantas emergentes para el tratamiento de aguas. Para la década de los setenta Kickuth utiliza el método de raíz (Root zone method). Más tarde, Vymazal refiere que en los ochenta los humedales artificiales eran utilizados para tratar aguas domésticas municipales, el autor señala que ya en la década de los noventa fueron utilizados para tratar todo tipo de aguas, así también se emplearon los sistemas híbridos.

En este sentido, un (HA) es una eco tecnología que utiliza procesos de biotransformación y mineralización, (Luna y Ramírez, 2014) capaz de reducir la concentración de carbono, nitrógeno y fósforo, por debajo de lo establecido por la normatividad vigente. Los primordiales elementos de un HA son el componente vegetal,



constituido por plantas vasculares terrestres y/o acuáticas, los microorganismos y el material o medio de soporte formado por agregados rocosos, (Figura 3.8).

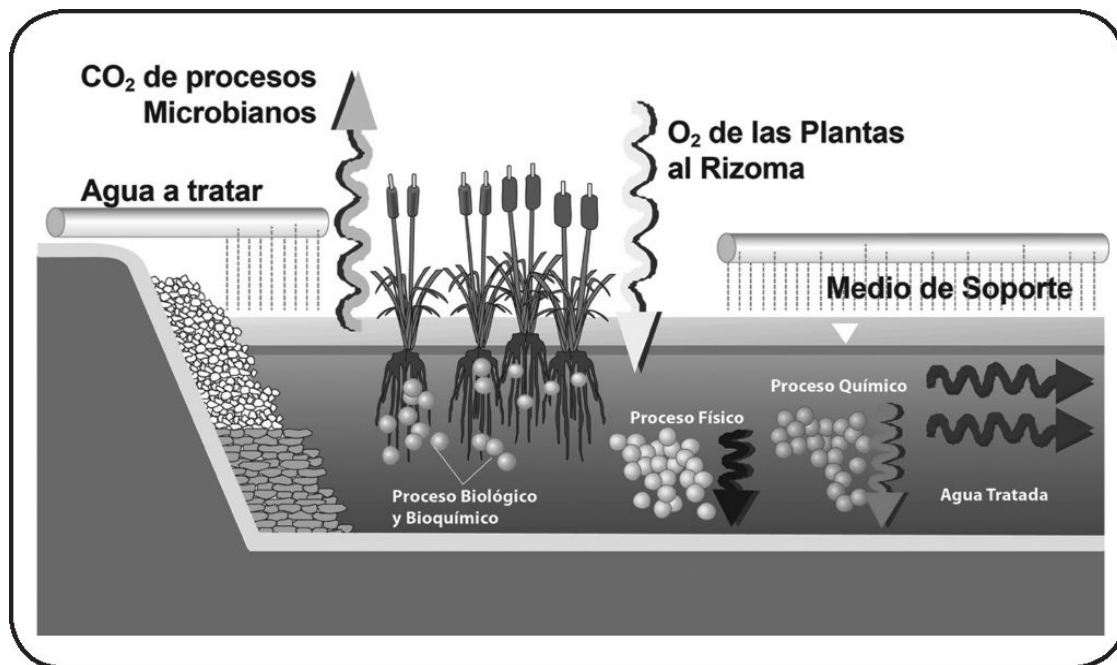


Figura 3.8. Elementos de un humedal artificial.

Fuente: Luna y Aburto (2014).

Por tanto, los (HA) establecen actividad bioquímica a través de los microorganismos; el oxígeno lo obtienen a partir del vegetal que interactúa con el medio rocoso, mismo que da soporte tanto a las raíces de la planta como también a los microorganismos, asimismo, funciona como material filtrante, (Tanner y Kadlec, 2010). La importancia en este contexto es la eliminación de material particulado suspendido y disuelto en el agua residual y se efectúa el proceso de degradación de materiales orgánicos hasta su mineralización (Brix 1993 y Wood, 1995).

A su vez, el diseño y creación de estos ecosistemas proporcionan forma, función y estética del paisaje, aportando condiciones para el desarrollo y preservación de ambientes y su diversidad biológica. Kadleck y Wallace (2009) sugieren que estos sistemas de humedales pueden ser de dos tipos, de flujo superficial (HAFS) y de flujo sub superficial (HAFSS), este último, es considerado en la propuesta de este trabajo.





Los (HAFSS) se les considera pueden ser de tipo vertical y horizontal, para esta propuesta se incluyen ambos sistemas que le dan mayor eficacia al tratamiento.

### 3.5.2 Tipos de humedales

- ✓ **Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical**, es una eco- tecnología natural de tratamiento de aguas residuales, de bajo costo, perfilada con el objeto de imitar los procesos naturales, son una alternativa en el tratamiento de aguas residuales (Stefanakis, 2014). El movimiento del agua fluye verticalmente por la matriz del filtro, actúa para eliminar sólidos, así como un espacio fijo para que las bacterias se detengan, y como soporte para la vegetación, misma que puede desarrollar raíces profundas, las cuales entran en el medio de filtración, (Delgadillo, et al, 2010).
- ✓ **Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal**, vierten a la entrada del humedal las aguas que fluyen de forma pasiva a través del sustrato poroso de la superficie del lecho siguiendo una trayectoria horizontal hasta que llega a la zona de salida. Vymazal y Kröpfelová (2010), mencionan que en el recorrido las aguas residuales entran en contacto en espacios aerobio (cerca de las raíces y rizomas de los vegetales) y anaerobio. El agua en su paso por la rizosfera se limpia mediante degradación microbológica.

Cuando se utiliza los (HASS) de flujo horizontal, se observa que existe poca transferencia de oxígenos al interior de este y la remoción de nutrientes en especial el nitrógeno se ve limitada, no obstante, los humedales de flujo vertical son capaces de cubrir esta necesidad al eliminar los nitratos presentes en la columna de agua. En este sentido, el uso de humedales híbridos puede potenciar y es visto para este caso de estudio como un sistema óptimo que ofrece diversas bondades.



### 3.5.3 Planificación para la restauración

A los sistemas vistos como una unidad, es posible plantear estrategias para conservar o recuperar las características de mayor influencia en los procesos como elementos necesarios para la dinámica ambiental y para un buen funcionamiento del sistema a nivel paisaje que incluye la geomorfología, la hidrología y demás componentes del ecosistema que tienen que analizarse para su posterior intervención en la bio restauración.

Dentro de la planificación el aprovechamiento resulta importante por las características que deben considerarse para un aprovechamiento adecuado de los recursos que se presentan en el área de estudio, de tal forma que facilite el desarrollo de investigaciones de restauración.

Un ecosistema comprende a las comunidades bióticas y abióticas en el cual interactúan, existe un balance que hace posible la continuidad de estos a lo largo del tiempo. No obstante, un desequilibrio entre las interacciones que se suceden puede ocasionar un deterioro parcial o total del sistema (Hunter, 1996). Por tanto, la importancia de restaurar ambientes conlleva atender no solo el componente físico y biótico, sino también considerar las relaciones que existen dentro y entre los mismos, así como el conjunto de interacciones que ocurren al interior de los sistemas y con el entorno cercano (Parker y Pickett, 1997).

Es conveniente realizar una metodología de planeación que contemple entre otros posibles puntos:

- ✓ Una descripción previa de las características bio-geofísicas del ecosistema, a distintas escalas.
- ✓ El tipo de afectación que se pretende realizar en el sitio y los posibles efectos que tendrá sobre el ecosistema, área o paisaje.



- ✓ Las medidas preventivas o de mitigación para evitar los efectos en el área de estudio; y
- ✓ Las medidas para mantener la continuidad de las características bióticas y de los procesos naturales, dentro del medio físico, de las comunidades bióticas, y entre ambos componentes.

Una vez detectadas y evaluadas las afectaciones potenciales es necesario determinar los mecanismos apropiados para prevenir o mitigar los efectos, durante y después del aprovechamiento. Estas medidas pueden incluir la aplicación de acciones de prevención efectiva, remediación, y/o saneamiento del área.

Cuando los ecosistemas han sido afectados por sustancias contaminantes, la primera actividad consiste en neutralizar, eliminar la sustancia tóxica mediante un proceso de remediación, para este caso de estudio el uso de humedales artificiales híbridos.

No existe una fórmula básica y mucho menos mágica que se contemple para restaurar los cuerpos de agua dulce. Pero, en el momento de generar un programa de restauración, es posible hacer una jerarquización de algunas variables que pueden influir de manera directa o indirecta en todas las demás. De esta manera, se pueden considerar cuatro grupos de acciones que son fundamentales para generar los programas de restauración:

### **Régimen hídrico**

El primer grupo se basa en las modificaciones en la cantidad de agua que entra y sale de un lago; esto es, los cambios al *régimen hídrico*. Algunos ejemplos de consideración para la restauración en este rubro lo integran el lago de Chapala y Cuitzeo que refieren asentamientos humanos alrededor del embalse y con presencia de contaminación. En este sentido, el cuerpo de agua de San Miguel Xico, como proyecto de restauración basó



sus elementos en la necesidad de regenerar el vaso receptor de la cuenca con el fin de que pudiera capturar agua de nuevo, a través de la línea de tratamiento propuesta.

Un éxito de restauración en la zona se hace evidente, al no presenciar de forma constante las tolveneras de la región, y al observar la reaparición de las aves migratorias, (Lindig y Zambrano, 2005). En muchas ocasiones se considera que reducir el tamaño de un sistema lo vuelve un sistema más estable. Así, se percibe que se logra regular el flujo hídrico durante todo el periodo y que un lago siempre contará con agua.

### **Columna de agua**

El segundo grupo se basa en las modificaciones químicas de contaminantes y nutrimentos en la *columna de agua*. Se infiere que, para la disminución de contaminantes, se ha trabajado para reducir la cantidad de fitoplancton, que son algas que flotan en el agua e imprimen una tonalidad verde que por un lado es poco agradable a la vista y que puede ocasionar disminución de la biodiversidad, así como del oxígeno disuelto con efectos en la salud humana, aunado a los olores que puede emitir.

### **Biomanipulación**

Se vincula con la modificación de la estructura de las comunidades de organismos que viven ahí; a este tercer grupo también se le conoce como *biomanipulación*. Los restauradores mexicanos cuentan con un campo virgen para la investigación del mejoramiento de lagos por medio de la modificación de las redes tróficas, controlando las especies de forma ascendente o descendente. Para este trabajo, se avista fauna aérea y no se descarta la presencia de organismos acuáticos.

### **Heterogeneidad**

Finalmente, el cuarto grupo busca aumentar la heterogeneidad espacial del sistema, e incluyendo modificaciones que den la posibilidad de reducir la erosión de las paredes de



los lagos. Trae consigo graves consecuencias que repercuten en el azolvamiento y, por lo tanto, en la disminución de la profundidad del cuerpo de agua.

Para el diseño y planeación de proyectos de bio restauración el seguimiento del proceso y los resultados, denota dos posibilidades: una evaluación, que mide los atributos específicos del ecosistema en una sola ocasión, o a través del monitoreo, que es la repetición sistemática de la evaluación en el tiempo. Esta última herramienta permite percibir cómo se aproxima el restablecimiento o las metas establecidas y, en su caso, tomar las medidas correctivas necesarias que recaigan en el proyecto de remediación de forma general.

Existen múltiples parámetros que se pueden evaluar en un proyecto de restauración, algunos de ellos relacionados con las características físicas, química y biológicas, como lo señala Callaway et al. (2004).

#### 3.5.4 Bio restauración

La bio restauración también es un proceso que se le conoce con el nombre de medidas biocorrectivas, consiste en el uso de microorganismos para degradar las sustancias tóxicas, de ser viable convirtiéndolas en bióxido de carbono, agua y sales minerales inocuas. Los microorganismos utilizan los compuestos orgánicos tóxicos como fuente de carbono, aunque existen procesos basados en la degradación sintrófica<sup>1</sup> de los tóxicos (Peña, Carter & Fierro, 2001).

El término biorremediación se utiliza para denominar una variedad de sistemas de recuperación que degradan, transforman, eliminan o disminuyen la toxicidad de

---

<sup>1</sup> La sintrofia, en el contexto del metabolismo microbiano, se refiere a la colaboración de varias especies para realizar una reacción química que, de otra forma, sería desfavorable energéticamente. El ejemplo mejor estudiado de este proceso es la oxidación de los productos fermentantes finales como el acetato, el etanol por organismos tales como Syntrophomonas. Ver: Madigan, M. T., Martinko, J. M. "Brock Biology of Microorganismos, 11th Ed." (2005) Pearson Prentice Hall.



contaminantes orgánicos e inorgánicos a través de la actividad biológica natural de organismos vivos (Fernández, 2008).

También se emplean los términos biocorrección y bio restauración. En contraste con esta definición amplia, es frecuente que por biorremediación sólo se entiendan los procesos llevados a cabo por microorganismos, y si hay participación de plantas en el proceso se hable de fitorremediación.

De esta manera, la bio restauración es un proceso que se utiliza para la eliminación de tóxicos en el suelo y el agua. Esta contaminación de suelos y de agua se deben principalmente a las acciones antrópicas, debido a la descarga de contaminantes al ambiente, lo cual es inevitable ya que son prácticas llevadas a cabo por las industrias y por el uso de productos químicos.

Por otro lado, bio restauración in situ radica en modificar las condiciones físico-químicas en la zona contaminada para que se incremente el número de microorganismos capaces de degradar los tóxicos presentes y su tasa metabólica. La finalidad de la bio restauración in situ es incrementar la rapidez de degradación de los tóxicos (Peña et al, 2001).

Las ventajas de un proceso de bio restauración son:

- ✓ Debido a que no se tiene que excavar y desplazar el suelo o área contaminada no se producen polvos tóxicos durante el proceso de limpieza.
- ✓ Se pueden tratar grandes cantidades de tierra o aguas a la vez.

Las desventajas de un proceso de bio restauración son:

- ✓ El tratamiento in situ es más lento que los procesos ex situ y pueden durar varios años en el caso de compuestos que se biodegradan lentamente.



- ✓ No se pueden aplicar en suelos muy estratificados y arcillosos debido a que estas condiciones no favorecen la buena distribución del aire en toda la zona contaminada.

En este sentido, la línea de tratamiento para la restauración del sistema, permite en diferentes momentos el trabajo eficaz a partir de los componentes diseñados, planeados y calculados para el paso de agua de una laguna a otra tomando en cuenta los criterios específicos ambientales y sociales, como se muestra en el apartado de proceso de diseño.

### **Marco histórico**

La creciente necesidad de sanear nuestro ecosistema para poder ofrecer a las futuras generaciones un ambiente limpio, aunado a la exigencia por parte de las autoridades con la publicación de la norma NOM-138-SEMARNAT que establece límites máximos de contaminantes en el suelo, subsuelo y acuíferos permiten ofrecer soluciones integrales y de confianza (SEMARNAT, 2012).

Para la restauración de los suelos en la década de los 80 y de los 90 se trabajó intensamente en el desarrollo de tecnologías para eliminar los tóxicos ambientales. La remediación de los suelos contaminados con hidrocarburos in-situ es recomendable revisar a la perfección la ubicación, la extensión y el desplazamiento de la pluma contaminante en el subsuelo, lo cual debe realizarse mediante un estudio de caracterización subsuelo o estudio de primer nivel.

De esta manera una remediación in-situ se puede llevar a cabo por métodos, físico-químicos, bioremediación o bio restauración, estos métodos deberán considerarse de acuerdo a las necesidades y características del lugar a tratar.

Inicialmente, la limpieza de un sitio consistía en el traslado del material contaminado a otro lugar donde era confinado o se quemaba. Estas opciones normalmente encuentran



gran oposición en las comunidades cercanas a las instalaciones de recepción y cremación (Infante, 2001).

Sin embargo, el desarrollo tecnológico en desintoxicación ambiental se ha orientado hacia el diseño de procesos físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos que tengan las siguientes características:

- ✓ Que transformen los tóxicos ambientales en sustancias menos peligrosas para el ser humano.
- ✓ Los riesgos para la salud durante el proceso de limpieza deben de ser tolerables.
- ✓ Los riesgos remanentes, después de terminada la restauración, deben ser iguales o menores que los establecidos en las metas de restauración.
- ✓ Que la transformación se lleve a cabo en el sitio mismo donde se encuentran los tóxicos, de ser posible sin tener que desplazar, dentro del sitio, el medio contaminado (técnicas in situ).
- ✓ Que logren la disminución o eliminación del peligro para la salud en tiempos y costos razonables.

La (EPA) 2010, determina que tecnología se debe de utilizar en la limpieza del sitio. Normalmente recomienda, si es posible el uso de tecnología de desarrollo reciente. Política que tiene el propósito de que al mismo tiempo que se trabaja en la eliminación de riesgos para la salud y en la conservación de la calidad del medio ambiente, se impulse el desarrollo científico y la innovación tecnológica en el área de remediación ambiental.

Las tecnologías de restauración se clasifican en dos grupos:

1. Técnicas tradiciones o establecidas
2. Técnicas innovadoras





Las primeras se desarrollaron antes de 1980, las cuales se ha aprobado como efectivas y de uso común a escala de campo. Un ejemplo de estas técnicas es la inmovilización por vitrificación y cementación en instalaciones de cofinanciamiento y la incineración de medios contaminados en hornos de cremación de residuos tóxicos.

Las segundas son técnicas propuestas recientes o renovadas, las cuales se pueden encontrar en diferentes etapas de desarrollo como etapa de concepto, tecnología incipiente y tecnología utilizable. La EPA es una base de datos en la cual se actualizan periódicamente la información técnico económica sobre el estado del desarrollo de las técnicas de tratamiento de tóxicos ambientales. Por esta razón, en la actualidad se cuenta con información de más de 100 tecnologías diferentes que se basan en procesos biológicos y químicos. Dentro de las tecnologías biológicas se encuentran:

#### **Fitorestauración**

Consiste en utilizar cultivos de plantas para eliminar tóxicos presentes en el agua y en el suelo. Se han utilizado para eliminar iones metálicos, plaguicidas, disolventes, explosivos, derrames de hidrocarburos, tanto crudos como compuestos poli aromáticos y lixiviados de basureros tóxicos. Las plantas poseen la capacidad de fijar los tóxicos o bien pueden metabolizarlos tal como sucede con los microorganismos en el proceso de bio restauración.

#### **Fitoextracción**

Es la capacidad que tienen los iones metálicos por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Existen plantas que absorben selectivamente grandes cantidades de metales acumulados en los tejidos, concentraciones más elevadas que las presentes en el suelo o en el agua. Esta estrategia se ha utilizado para eliminar hidrocarburos de agua y de suelo con cultivos de alfalfa, álamo y enebro. En la línea contaminada se plantan las especies que se han seleccionado, cuando las plantas crecen se recolectan y se incineran. Las cenizas se pueden lavar para recuperar los metales o



bien pueden depositarse en vertederos tóxicos, con la ventaja de que ocuparan un espacio menor.

### **Rizofiltración**

Muy similar a fitoextracción, pero al contrario de cultivar las plantas en el suelo, se cultivan en invernaderos usando la hidroponía. Las plantas se cultivan en estanque de agua contaminada y los tóxicos quedan fijadas en sus raíces. A medida que las raíces se saturan del tóxico, se van cortado y eliminando. Este método fue probado para eliminar iones radiactivos en las lagunas contaminadas en el accidente de la planta nuclear de Chernobyl utilizando plantas de girasol.

### **Fitodegradación**

En este proceso las plantas degradan compuestos orgánicos, por lo que son absorbidos y metabolizados, de forma frecuente los metabolitos que producen tienen actividad de fitohormonas acelerando el crecimiento de las plantas. También favorecen la degradación microbológica en la rizosfera.

### **Bombeo biológico**

Cuando las raíces de los árboles llegan al manto freático absorben una gran cantidad de agua. Existe una variedad del álamo *Populus deltoides* que absorbe más de un metro cúbico por día. Esta característica de los árboles sirve como estrategia para impedir que las aguas superficiales contaminadas lleguen a los acuíferos que se usan para suministro de agua.

### **Fitovolatilización**

Cuando los árboles absorben agua contaminada con compuestos orgánicos volátiles, eliminan la gran mayoría de los compuestos orgánicos volátiles (COV), en la transpiración de las hojas. Los álamos transpiran cerca del 90%.

### **Modelos y técnicas aplicables**



El desarrollo de tecnologías amigables con el ambiente al igual que el conocimiento y preservación de los ecosistemas, son problemas en los que crecientemente se hacen mayores esfuerzos, tanto a nivel nacional como en el ámbito internacional. Existen inoculantes elaborados en base a microorganismos, al ser aplicados al suelo o a las semillas pueden favorecer el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con una planta y su rizosfera<sup>2</sup>. La inoculación se puede realizar en plantas, bacterias, suelos, frutos, inoculación de hojas mediante aspersión y suspensión de esporas, utilizando discos de micelio<sup>3</sup> e inoculación de semillas. Para este proyecto se considera los humedales artificiales de tipo sub superficial híbrido, que atraviesa por una línea de componentes que limpian el agua que circula y retiene partículas y contaminantes a través de vegetales.

### Microorganismos

Los microorganismos suelen ser beneficiosos ya que aparte de las especies parásitas y patógenas, que son minoría (de acuerdo con los resultados obtenidos para algunos parámetros que no rebasan la normatividad) resulta indispensable para el equilibrio de los elementos, para ciertos procesos industriales, en alimentación, en medicina y en sistemas biológicos.

Las tecnologías biológicas se basan en la degradación de los contaminantes orgánicos por la acción de los microorganismos. Pueden aplicarse tanto in situ como en los suelos excavados y han sido desarrolladas para tratar un rango amplio de contaminantes como pesticidas, gasóleo, gasolina, aceites y ciertos compuestos orgánicos halogenados (Rubio, 1996).

En el proceso de biodegradación hay factores que influyen tales como:

- ✓ Biodegradabilidad de los contaminantes

---

<sup>2</sup> La rizosfera es la parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo la directa influencia de estas.

<sup>3</sup> El micelio es la masa de hifas que constituye el cuerpo vegetativo de un hongo.



- ✓ Presencia de componentes inhibidores
- ✓ Temperatura
- ✓ Concentración de oxígeno
- ✓ pH
- ✓ concentración de nutrientes
- ✓ solubilidad de los contaminantes

La importancia y la urgencia de revertir los daños que presentan la mayor parte de los ecosistemas acuáticos, puede obedecer, al menos en parte, a los errores que se cometen al no reconocer que la exigencia del agua limpia no es congruente con el uso y desecho que se realiza una vez usada y para admitir la responsabilidad individual de la alteración de la recarga y depuración naturales.

La restauración de los cuerpos de agua, propone una serie de procedimientos que restablezcan los efectos de la eutrofización a causa de los ingresos excesivos de partículas suspendidas, nutrientes y materia orgánica y sus efectos sobre los organismos en los sistemas acuáticos naturales lagos y ríos, así como los artificiales como son los propios embalses donde la restauración reviste importantes implicaciones de manejo.

### 3.5.5 Educación ambiental para la sustentabilidad

La educación ambiental como herramienta pedagógica para el progreso educativo social, involucra la evaluación, el análisis de métodos y técnicas formativas, de actitudes y acciones en favor del ambiente y de la sociedad, toda vez que la educación ambiental desde un enfoque desde el hacer y aprender haciendo en la cotidianidad se contrasta con el hacer académico vinculado a la realidad contextual y está orientada hacia las potencialidades y oportunidades de desarrollo local, (Herrera, Martínez, Ortiz y Amauri, 2016).

En este sentido, la EA se caracteriza por poseer una serie de propuestas dirigidas a la formación de ciudadanos con responsabilidad ambiental que establecen compromisos



con acciones que les ayuden a mejorar el entorno inmediato, estas acciones son necesarias para atender diversos ambientes perturbados y que tienen su origen en factores económicos y políticos lo que obliga a deslindarse del desarrollo local y por supuesto del medio donde se desenvuelven.

El desafío en el contexto académico se perfila a la integración de saberes y procesos, buscando la innovación para la transformación y la conveniencia de la formación en el proceso actual y dinámico de la enseñanza-aprendizaje. Una de las líneas que abre paso a la educación ambiental a partir de un enfoque sistémico es la problemática ambiental y la oportunidad de una reflexión crítica y analítica en el ámbito escolar como escenario ideal para la retención de la misma como herramienta de planificación y desarrollo para la cotidianidad que expresa una armonía entre la sociedad y la naturaleza.

Es así, que la EA se manifiesta en diferentes ámbitos escolar, comunal, social y familiar, a su vez, se relaciona con los actores que aparecen en escena como individuos y grupos que construyen la base del discurso que atraviesa la educación ambiental. En palabras de Pierre Bourdieu representa una dinámica social en contextos y culturas específicas, que sin duda es un espacio de mediación entre lo social y lo individual.

Se infiere que dentro de la EA deberá observarse las manifestaciones de impacto ambiental que, de forma antrópica o natural, alteran el equilibrio ecológico, por lo que se deben encontrar soluciones integrales que mitiguen los daños que se ocasionan sobre el ambiente. Es desde esta perspectiva que la EA permea diferentes ámbitos y contribuye a través de la construcción de conocimientos interdisciplinarios a la transformación de ambientes que impacten de forma positiva a una localidad, con acciones ambientalmente sustentables.

La EA y el desarrollo sustentable son aportes complejos pero fundamentales para transformar las relaciones de inequidad que se presentan entre una comunidad y otra, entre individuos y estos a su vez con el entorno. Las contribuciones tienen su origen en



el discurso que recorren ciertas políticas públicas, sociales y económicas, educativas y culturales, que, por su complejidad, en ocasiones han sido discutidas, interpretadas y aplicadas de manera opuesta a lo esperado. En esta medida, la EA para la sustentabilidad deben dar lugar a una perspectiva diferente de relaciones que deben establecerse con el medio, reconociendo que es a través de la educación como se puede resolver algunas problemáticas ambientales que se presentan en la comunidad.



## IV. PROCESO METODOLÓGICO

*“Ninguna generación de seres humanos, previa a la nuestra, ha tenido la cantidad de información acerca de los efectos de nuestra actividad sobre el ambiente, ninguna generación del futuro tendrá el tiempo que nosotros tenemos para actuar”*

*José Sarukhán*



## Introducción

El agua es un elemento esencial del ambiente considerado como el factor principal que controla el estatus de salud tanto en individuos como en la biota en general (Kazi et al. 2009). Asimismo, las transiciones en su calidad son resultado de la combinación de procesos naturales como la meteorización y erosión del suelo; las cargas antrópicas que resultan en la deposición de residuos municipales e industriales (Figura 4). Habitualmente éstas últimas establecen una fuente constante de contaminación. En la actualidad, el cambio climático y el estrés hídrico limitan la disponibilidad de agua en el mundo (Lermontov et al. 2011).



Figura 4. Área de muestreo San Miguel Xico, Valle de Chalco.  
Fuente: Propia (2015).

Las aportaciones antrópicas de una diversidad de fuentes suelen ser los principales factores que perturban a la mayoría de los cuerpos hídricos, sobre todo aquellas que colindan con zonas urbanas (Wen-Cheng et al. 2011). Hay un sin número de estudios sobre calidad del agua en diferentes ecosistemas acuáticos (Gupta et al. 2009, Kazi et al.





2009, Dolotov et al. 2010, Razzaq-Gumman, 2011), pero el monitoreo continuo de los cuerpos de agua aunado a sus variaciones espaciales y temporales generan grandes y complejas matrices de datos que son de difícil interpretación (Kazi et al. 2009).

En este sentido, se requieren herramientas que ayuden a una fácil interpretación para comunicarlo a la sociedad de forma sencilla, sobre el estado que guarda el sistema hídrico. Es así que se han establecido numerosos índices de calidad del agua que pueden conjuntar información suficiente y generar un único valor que defina, a través de una escala una calificación del recurso como la norma oficial mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes.

Se describe el proceso metodológico referido a la zona de estudio, la revisión y recopilación de información, el estudio de campo y el trabajo de gabinete. Se detallan en los resultados la calidad que presenta el cuerpo de agua señalando los parámetros realizados y la comparación con las normas oficiales, el funcionamiento del acuífero, los procesos de ajuste de calidad del agua y la guía de selección para el proceso de tratamiento.

Se concluye con estadísticas que afectan a la población como caso de estudio, ventajas y desventajas de la bio restauración en el área determinada, así como el listado de la cotidianidad.

## **4.2 Diagnóstico circunstancial**

Una de las prioridades para atender las necesidades básicas de la población a nivel mundial es el agua, que permita elevar sustancialmente la calidad de vida. Se han implementado estrategias que contribuyan a lograr su desarrollo sustentable y avanzar en la viabilidad de la comunidad de Xico en Valle de Chalco en el largo plazo.

La polución es uno de los principales inconvenientes que presentan los cuerpos de agua en México, en este contexto, la situación se ha agravado por el reconocimiento tardío



de los impactos negativos a los ecosistemas acuáticos lo que disminuye la calidad del reservorio. Es importante mencionar que, en la década pasada, la problemática del agua fuera calificada como un asunto de seguridad nacional y que el gobierno federal ocupará la responsabilidad de formular la Agenda del Agua 2030, la cual viabilizará robustecer una política de sustentabilidad hídrica, que se considera como prioritaria para el país (CONAGUA 2011).

En el escenario inercial que vislumbra este organismo, el principal problema de calidad del agua en el país es la falla de infraestructura de tratamiento de aguas residuales. En las siguientes líneas se representa lo contendiente al entorno natural de las inmediaciones lagunares, así como el ambiente construido que refleja importantes aspectos para el desarrollo de la comunidad aledaña a la zona de estudio (Figura 4.1).



Figura 4.1. Sistema lagunar Xico.  
Fuente: Propia (2015).

#### 4.1.1 Elementos del ambiente natural

Una de las cuencas que presenta un reto en materia de mejoramiento de la calidad del agua es la zona lacustre de Tlahuac-Chalco, prioritariamente el área lagunar que



pertenecen a Xico en la zona norte. Este complejo de humedales fue declarado, en 2004, como Área Natural Protegida en la categoría de restauración ecológica (Figura 4.2) y, de acuerdo con la Ley para la protección y preservación del ambiente, el objetivo de estas superficies naturales protegidas es restaurar e incrementar sus funciones y procesos originales.



Figura 4.2. Área Natural Protegida.  
Fuente: Adaptado de INEGI 2012.

También se encuentra incluida en la lista de humedales de importancia internacional de la Convención Ramsar, alberga una comunidad de aves acuáticas residentes y migratorias, funcionando como sitio de reproducción para muchas de éstas (Sandoval-Minero 2004). Si bien, una recuperación del área de humedales convoca el retorno de miles de aves acuáticas que aprovechan como hábitat para su ciclo biológico en alguna de sus fases, para reproducción, anidación o su condición migratoria.

Las características primordiales de la zona de sistemas acuosos, y para el caso de estudio, chinampas, lagunas, humedales, canales dentro de la zona lacustre de Valle de Chalco, en su conjunto representan importantes servicios ambientales, depósitos de aguas pluviales y de tratamiento. Los islotes flotantes que favorecen al ecosistema tienen la capacidad de captar cerca de 114 toneladas de carbono por hectárea en pie y 645 toneladas de carbono por metro de profundidad de sedimentos por hectárea, que



favorece el sustento de la vegetación acuática emergente que funciona como filtro natural de las aguas en movimiento (Burns, et al, 2011).

#### 4.1.2 Fisiografía

El relieve es la forma en que se presenta la superficie de la Tierra, en el contexto mexicano es considerablemente variado, representado por grandes cadenas montañosas hasta relieves planos, cruzando valles, cañones, altiplanicies, depresiones entre otras formaciones, asimismo el conocimiento fisiográfico implica entre otras cosas la identificación de los principales rasgos y la explicación de los procesos que intervinieron en su modelado y le han dado el aspecto actual.

La cuenca del valle de México está rodeada por las serranías occidental, oriental, el Chichinautzin y el eje neo volcánico transversal, como resultado de un proceso tectónico, acaecido entre la placa de cocos y la placa norteamericana, esta composición geológica permite las condiciones de permeabilidad, favorables para el desarrollo de los principales acuíferos y sistemas lacustres, dando pie a la zona lacustre del valle de México, conformada en un principio por cinco principales lagos, (Camarillo, Maurer y Ulacia, 2004).

La provincia fisiográfica a la cual pertenece Valle de Chalco de acuerdo con INEGI (2009) es el Eje Neo volcánico emplazado en las sub provincias de Lagos y Volcanes del Anáhuac (Figura 4.3).

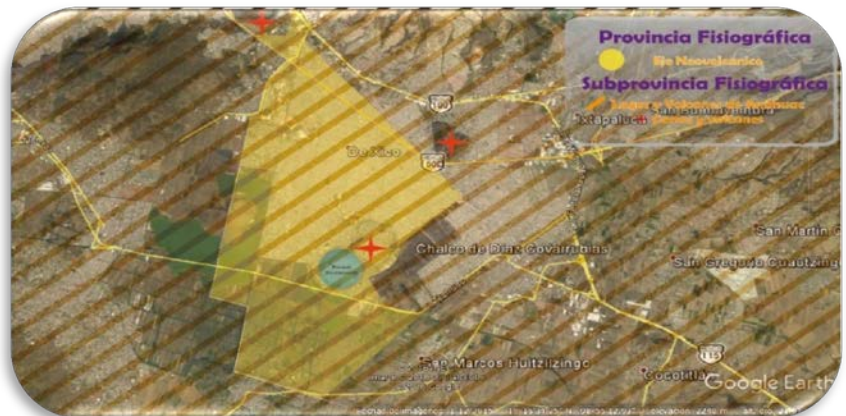


Figura 4.3. Provincias fisiográficas del Anáhuac.  
Fuente: Adaptado de INEGI 2012.

El sistema de topo formas representado en el vaso lacustre en un 96.23% y lomerío de basalto en 3.77%. EL municipio se posa sobre una gran depresión que, durante el





plioceno de la era terciaria, prevalecía un mar interior, (Figura 2.3). La superficie total del municipio es de 46.53 km<sup>2</sup> y representa el 0.22% de la superficie del estado.

Tiene una altitud de 2537 msnm, su relieve es consecuencia de los derrames lávicos de la formación del Iztaccíhuatl y Popocatépetl, donde la elevación decrece en sentido suroriente-norponiente, donde yace la cuenca de México. La superficie de Valle de Chalco es prácticamente plana situada en la fosa tectónica del antiguo lago de Chalco, rodeado por la Sierra de Santa Catarina con elevaciones del cerro de Guadalupe, La Caldera y el Elefante, dentro de las inmediaciones del municipio se localiza el cerro de Xico y del Marqués, dos cuerpos volcánicos con pendientes ligeras entre 10 y 30 % y una altura aproximada de 100 metros sobre el nivel medio del Valle.

#### 4.1.3 Geología

La región de Valle de Chalco está compuesta por elementos rocosos de origen sedimentario, ígneos y extrusivas de la era cenozoica, las unidades litológicas son brecha volcánica básica; toba básica, aluvial y lacustre. Predominan los suelos lacustres con 3958 ha (85% del municipio), constituido por capas de arcilla con alto contenido hídrico y muy compresibles. Dentro de esta zona se posa la zona urbana (Figura 4.4).

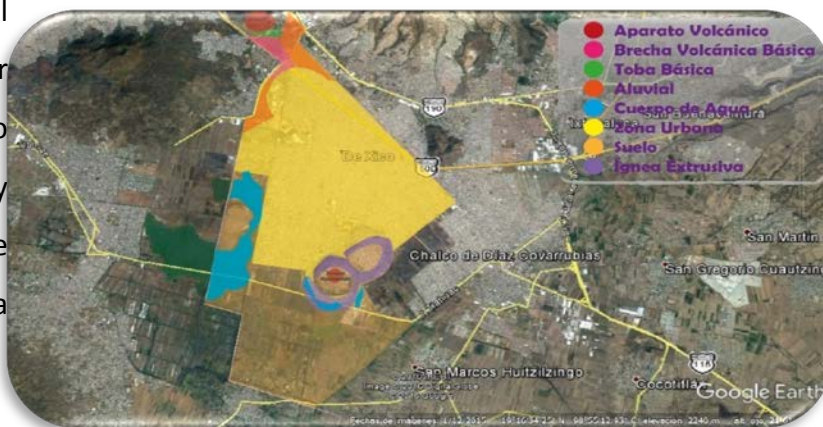


Figura 4.4. Mapa geomorfológico.  
Fuente: Adaptado de INEGI 2012.

El suelo aluvial con 396 ha (9%) se localiza en el cráter del volcán Xico y en la cima del cerro del Marqués.

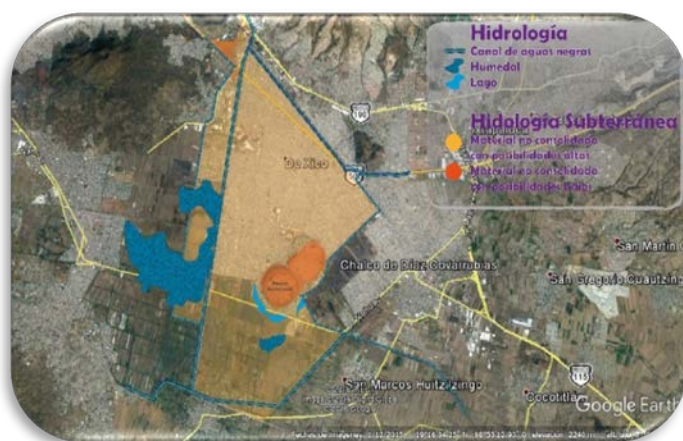


El suelo toba básica se distribuye en 193 ha (5%) ubicadas en las laderas del cerro la Caldera, el Marqués y Xico, estos suelos al ser de tipo arenoso y al contacto con agua pluvial pueden originar inestabilidad en las pendientes; el uno por ciento restante (57 ha) lo compone el suelo brecha volcánica básica. Geomorfológicamente, se confina en tres regiones: Vaso lacustre (corresponde el 91% del área municipal y es un terreno plano con elevaciones del cerro del Marqués y Xico); vaso lacustre con piso rocoso o sementado (ocupa el 7% del área municipal) y lomerío de basalto (2% ubicados en las laderas del cerro la Caldera).

#### 4.1. 4 Hidrología

El sistema hidrológico superficial de Xico en Valle de Chalco, forma parte de la región No.26 Pánuco (Figura 4.5). y lo conforman los escurrimientos que provienen del Iztaccíhuatl cordillera que pertenece al eje neo volcánico, cuenta con tres corrientes, el Río Ameca, El Río de la Compañía y el Río Acapol (canal general) los cuáles han sido utilizados como canales de aguas negras, (Comisión ambiental metropolitana).

El río la Compañía conduce las aguas residuales que provienen de Ixtapaluca y Tlalmanalco, el Río Amecameca drena la parte sur. Valle de Chalco se localiza en las partes más bajas de la zona oriente del Estado de México, recargando las aguas entre los límites de Tláhuac y Chalco en sus lagunas, que proceden de los escurrimientos del cerro



del Xico. En temporada de precipitaciones es necesario recurrir al bombeo para evitar inundaciones que afectan a la población asentada, utilizando los canales de salida que se encuentran cada vez más saturados.

#### 4.5. Mapa hídrico.

Fuente: Adaptado de INEGI (2012).



Las cuencas de agua del subsuelo corresponden al 92%, el sistema de humedales en Valle de Chalco, ha sido categorizado como un espacio con material no consolidado con eventos de filtración altas. El material no consolidado se describe como alto contenido de sedimentos de origen lacustre que han formado desde la historia del tiempo el suelo, empero, el suelo urbano ocupa cerca del 70% que corresponde a esta clase, por lo que la permeabilidad alta solo está presente en el sur del municipio.

#### 4.1.5 Clima

El clima que predomina en la región de Valle de Chalco es templado subhúmedo C (wo), con una temperatura media anual que oscila entre los 12°C y 18 °C. La evaporación es elevada de 737 mm, alcanzando sus valores máximos de mayo a octubre siendo mayor que la precipitación, con excepción de los meses lluviosos. La lluvia media anual se establece alrededor de 200 a 1,800 mm, siendo la precipitación en temporada de estiaje de 0 a 40 mm. Los temporales en verano fluctúan entre 5% y 10% anual.

Las corrientes de aire predominantes tienen una dirección de sur a norte y velocidades de 2 a 12 m/seg. Asimismo, durante los meses de febrero y marzo alcanzan mayores velocidades y producen tolvánicas en las horas más calientes del día, transportando grandes cantidades de partículas polvo. A este clima (Figura 4.6) corresponde una vegetación de tipo pradera caracterizada por plantas herbáceas.



Figura 4.6. Mapa de clima.  
Fuente: Adaptado INEGI 2012.





#### 4.1.6 Usos del suelo

Valle de Chalco Solidaridad toma su nombre del antiguo Lago de Chalco. Su apelativo Solidaridad es por haber ocupado el municipio el lugar donde dio inicio el Programa Nacional de Solidaridad. La superficie total del municipio es de 4,639 ha. (Figura 4.7).

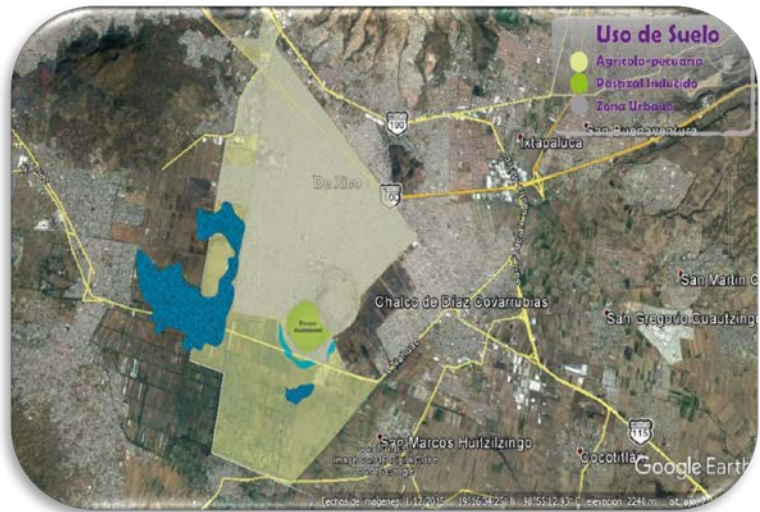


Figura 4.7. Uso de suelo.  
Fuente: Adaptado de INEGI (2012).

Cuenta con 35 comunidades. De su extensión territorial el 59% (2,746 ha) corresponden al suelo urbano, compuesto por uso habitacional, comercial, equipamiento, servicios y en menor medida el uso industrial, (Plan de desarrollo urbano municipal de Chalco, EDOMEX, 2014). El 31% (1,439.9 ha) corresponde al uso agrícola y pecuario (Figura 4.8), concentrándose al sur del municipio, los cultivos son principalmente el maíz y el frijol.



Figura 4.8. Áreas de cultivo Xico.  
Fuente: Buenrostro (2015).





El 7% (341 ha) lo conforman los cuerpos de agua conocidas como lagunas de Xico. El restante el 3% (122 ha) corresponde a pastizales inducidos distribuidos en la zona sur.

### Flora

Como resultado de la desecación del antiguo lago en tiempos de la historia, la vegetación halófila actual está formada por romerillo y zacate salado, especies arbustivas como espinosilla (Figura 4.9), cardo santo, hierba del carbonero, maravilla, cardo santo, escobilla, salvia y maravilla, cylindropuntia; las especies arbóreas son básicamente introducidas: eucalipto, casuarina, fresno y pirul, de las especies riparias destacan el sauce, álamo y ahuehuete.



Figura 4.9. Vegetación de la zona.  
Fuente: Buenrostro (2015).

La vegetación acuática incluye tulares y juncos, que conforma manchones a la orilla de los canales, algunas especies asociadas son el pasto salado como la orejilla y en mayor cantidad resalta el lirio acuático, por su gran capacidad de formar alfombras verdes, esta especie no nativa de flora flotante poseedora de flores elegantes y bellas, por su forma y color fue el principal motivo de su introducción en estanques y acuarios a nivel mundial. El lirio tiende a ser una plaga por su acelerada reproducción y por las elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno vertidas en aguas residuales, urbanas o industriales (Arcos Domínguez, 2002).



La CONAGUA (2011), señala que el lirio acuático (Figura 4.10) está presente en 32% de las presas mexicanas y es exhibido como un factor serio que amenaza y contamina el medio acuático impidiendo la dinámica ambiental natural de fotosíntesis vital para la cadena trófica y redes alimentarias.



Figura 4.10. Lirio acuático.  
Fuente: Propia (2015).

Con este tipo de amenazas al ambiente se requiere mayor número de dragados, de lo contrario el sistema puede convertirse en un ambiente palustre mismos que contienen un porcentaje alto de materia orgánica como producto de la descomposición de la exuberante vegetación, predominan los colores verdes oscuros típicos de zonas carentes de oxígeno.

### **Fauna**

La fauna típica de la región corresponde a las especies representativas de las zonas lacustres de la Cuenca de México, destacan tuzas, tejones, ratones de campo, reptiles, aves, animales domésticos. Dentro de las aves acuáticas se observan cigüeñuelas, patos



trigueros, pato zambullidor, garzas ganaderas y en crecimiento animales domésticos, ovejas, equinos y ganado (Figura 4.11).

Es necesario señalar que la base para la restauración ecológica dentro de los ecosistemas acuáticos, es el conocimiento de sus características funcionales y estructurales, lo que determina que la estructura de las comunidades vegetales y animales se basa en la identificación de las especies que la conforman y en la determinación del valor de importancia de las mismas como criterio para seleccionar las especies que mejor se adapten al tipo de hábitat.



Figura 4.11. Ganado.  
Fuente: Propia (2015).

## 4.2 Elementos del ambiente construido

Valle de Chalco Solidaridad, es un municipio del Estado de México, en el pasado remoto, el sitio era conocido como Xico el cual estaba formado por los cerros denominados del Marqués o La Mesa y de Xico o la Joya. Ambos emergían del Lago de Chalco formando una de las cuatro islas que se hallaban en dicho lago (las otras tres islas eran: la de Tlapacoya o Cerro del Elefante, la de Míxquic y la de Tláhuac). Hacia el oeste estaba separada la del Lago de Xochimilco por la Isla de Tláhuac (Ases, 1996).

Actualmente Xico, forma parte de la ciudad que se edificó a partir de los años setenta en las partes bajas de su entorno, en el Valle que emergió a partir de la desecación del antiguo lago de Chalco en la década de los años sesenta y que se convirtió en un gigantesco laboratorio social que nos permite estudiar y conocer la dinámica del desarrollo social, política, económica y cultural de la población de nuestro país, a partir de las grandes migraciones y reacomodos en la zona urbana.



Estos cambios y transformaciones no han sido fáciles, ya que se da un choque entre dos medios sociales: el rural y el campesino o ganadero, estos últimos buscan mantener sus raíces con una herencia cultural indígena. Sin embargo, en Xico se realizan actividades económicas ya sea de manera autóctona o utilizando medios tecnológicos.

Chalco fue el lugar donde los comerciantes llegaban para intercambiar semillas, frutos, ropas y ornamentación con poblaciones más lejanas como el hoy municipio de Ozumba de álzate ubicado en el oriente del estado de México. Esta pequeña isla del lago se localizaba junto al cerro del Márques, Xico, en lengua náhuatl significa ombligo y se atribuye este nombre gracias a la formación del cráter en el cerro, este lugar en años posteriores sería uno de los centros regionales más importantes de la zona centro (Sugiura, 2005).

#### 4.2.1 Sociales

La conformación social a partir de intensas migraciones hacia la comunidad de Valle de Chalco, favorece nuevos procesos de hibridación cultural, intercambios de experiencias de consumo desde lo cotidiano, generando con ello, la estructuración de un nuevo espacio de identidad, en esta constante evolución y re significación, se vislumbran grupos emergentes que buscan hacer presentes sus valores, bajo una transformación acelerada y una distribución económica desigual como consecuencia del postmodernismo, con este análisis de usos sociales y consumos culturales se combinan nuevas influencias de la modernidad a la posmodernidad de manera heterogénea, hacia una cultura globalizada.



Figura 4.12. Tianguis de Valle de Chalco.  
Fuente: Propia (2014).





Las zonas populares coexisten bajo la presencia de grandes cadenas comerciales junto con las diversas modalidades del comercio informal (Figura 4.12)., Valle de Chalco no es la excepción, ejemplo de ello son los “tianguis” asentados en diversos puntos y días de la semana En estos sitios de venta la gente acude por conseguir productos muy económicos, cosas usadas, como ropa, zapatos, herramienta, etcétera.

#### 4.2.2 Económicos

En el contexto comercial en el que se desenvuelve la comunidad de Valle de Chalco, las compras se asocian con otras actividades urbanas, como las recreativas, a partir de ello, se llevan a cabo combinaciones cuyas rutas tienen que ver con el aprovechamiento de estos recorridos y bajo este flujo constante, los espacios-tiempos del consumo se han ampliado y adecuado al contexto, la combinación de ventas formales e informales se vinculan a la distribución entre la oferta y la demanda de grandes cadenas comerciales y las micro, pequeñas y medianas empresas con un comercio informal fijo, semifijo y ambulante.

En una zona como lo es Valle de Chalco la población activa se dedica a algún tipo de comercio o servicio por lo general informal, sea en el propio domicilio o en la calle. De acuerdo con los resultados del Censo General de Población y Vivienda (2000), la cuarta parte de la población que para ese año laboraba en el municipio de Valle de Chalco, se desempeñaba como patrón o empleado en algún establecimiento comercial y otro 10 % se dedicaba a algún tipo de actividad comercial en la vía pública.

En los últimos años, el comercio organizado ha constituido asentamientos en grandes superficies de la zona de estudio, con ello se han creado nuevos puntos comerciales, este macro sector proporciona un complemento al micro-comercio ambos ajustándose a las condiciones de escasez de empleo, bajos salarios por sus precios bajos y sus ofertas, y el micro-comercio por manejar menudeo orientado a la supervivencia del día con día.



“Por eso proliferan los micro-comercios en Valle de Chalco e incluso las tiendas llamadas “de ventanita”, que consisten en vender detrás de la ventana de la casa, generalmente mercancías de primera necesidad, como arroz, frijol o café en cantidades reducidas, aptas para el consumo diario” (Duhau, 2007, p. 36).

#### 4.2.3 Estructura urbana

Valle de Chalco representa una modalidad de expansión muy peculiar y es entendida por ser una zona de paso entre el Este y Noroeste del Estado de México. Esta urbe ha emergido a través de una población intra-migrante proveniente de varios Estados de la República entre los que se encuentran en un 90% del área metropolitana, el 10 % restante proveniente de las zonas conurbadas como Nezahualcóyotl 37.3%, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Hidalgo, Guerrero entre otros. Se hablan 44 lenguas indígenas dentro de los 10 grupos étnicos más importantes Mixteco, Nahuatl, Otomí, Zapoteco, Totonaca, Masahua, Mixe, Chinanteco, Tlapaneco y Huasteco.

Los desplazamientos espaciales del ser humano forman parte de sus momentos históricos, los cuales han estado limitados por diversos componentes de naturaleza ambiental, social, política, demográfica, económica, cultural y religiosa, lo que ha dado lugar a migraciones voluntarias bajo una teoría antropocéntrica desde una visión del mundo que incluye valores, creencias, hábitos y normas, manifestados en conductas ante el entorno social; por otro lado, las migraciones obligadas, debido a las necesidades e cambio y del logro de mejores estilos de vida.

El área urbana ocupa el 51% del territorio total del municipio, su estructura se encuentra fraccionada entre la autopista México-Puebla, (Figura 4.13 y 4.14) por un lado con equipamiento urbano adecuado, y por el otro, el terreno carece de áreas verdes y recreativas ya que solo cuenta con 59 hectáreas destinadas como hábitats verdes, lo que corresponde al 1.52% del territorio. Aunque el uso industrial es limitado, ya se observan algunos asentamientos dentro del ramo.



La estructura urbana en los inicios de consolidación como Valle de Chalco se orientó en las laderas de San Miguel Xico, y en la actualidad la cabecera del municipio es donde coinciden las principales vialidades y corredores urbanos. Al sur la topografía urbana está limitada por las elevaciones del cerro de Xico, mientras que los espacios de equipamiento los conforman el palacio municipal, la ciudad deportiva Juan Pablo II, el hospital general y la plaza comercial, por lo que el equipamiento solo se refiere dentro del contexto de barrio y sub centro urbano.

Identificar las características sociales y urbanas de la sociedad mexiquense en la zona oriente del Estado de México reconoce situar su contexto espacial y actuación económica, así como proyectar estrategias para sustentar niveles de vida. La tarea no ha sido fácil en la resolución de la problemática urbana y social que, a partir del 2000, se han puesto en marcha acciones para enfrentar la dinámica socio-ambiental y económico (Moreno, 2012).



Figuras 4. 13 y. Autopista México Puebla  
Fuente: Propia (2014).



Figura 4.14. Autopista México Puebla  
Fuente: Propia (2017).



#### 4.2.4 Programa de desarrollo urbano

El plan de desarrollo urbano y la vivienda, debe considerar los lineamientos y estrategias contenidas en los esquemas de ordenamiento ecológico de la provincia, inquiriendo en la determinación de los usos del suelo, lograr una diversidad y eficiencia, asimismo, en la determinación de espacios para el desarrollo de los centros de localidad, fomentar la mezcla de los usos habitacionales con los productivos (Figura 4.15) que no representen riesgos o daños a la salud de la población y evitar que se afecten áreas con alto valor ambiental.



Figura 4.15. Conjuntos habitacionales.  
Fuente: Buenrostro (2015).

Es importante mencionar que el paisaje para estudios de tipo prospectivo debe presentar una versatilidad socio espacial que haga posible analizar en diferentes escalas los patrones y procesos que le son propios (Moreno, 2013) que de la capacidad de abordar diferentes espacios rurales, conurbados y urbanos, así como de los ecosistemas que se encuentran circunscritos y planificar de acuerdo a las normas que se rijan en las extensiones vacías o urbanizadas (Waldheim, 2006), de esta forma y de acuerdo con el autor, es posible dimensionar una mirada integral desde la percepción de lo existente como lo es el patrimonio natural y cultural que son eje de una localidad que los identifique.

Una planificación del paisaje permite incursionar y enfrentar de forma sinérgica y sustentable las problemáticas socio ambientales y económicas agrupadas en la restauración de espacios impactados por desastres (Moreno, 2009). El hábitat o lugar se





percibe como un espacio geográfico delimitado física y funcionalmente, y por ende de forma económica y política. Dentro del cual se manifiestan proceso de apropiación, habitabilidad, producción y significación, es entonces, que cuando se suscitan riesgos y peligros en una población afectan a sitios vulnerables como es el caso de Xico en Valle de Chalco. Asimismo, las zonas donde se establecen actividades humanas de competencia en la misma sociedad y sus formas de organización del orden municipal o regional. Así, un desastre no depende solo de la naturaleza sino también de la toma de decisiones y acciones en el establecimiento de una región en constante crecimiento de asentamientos irregulares o bien, de las actividades humanas donde se omite las amenazas (Figura 4.16) existentes y las vulnerabilidades que se despliegan y de las variables que constituyen una situación de riesgo potencial (CEPAL, 2005).



La formulación de planes y proyectos, finalmente son estrategias para comprender las dinámicas naturales y antrópicas del espacio, la combinación de métodos, diseños y herramienta interdisciplinarias, transdisciplinarias y multidisciplinarias son importantes en el desarrollo de urbano y municipal que se configuran con escenarios y procesos para una efectiva participación- acción desde la localidad que cimienten y sustenten estrategias orientadas a la restauración de ecosistemas terrestres y acuáticos orientados a la construcción de paisajes resilientes.

Con el fin de proteger las zonas de recargas de acuíferos, el Gobierno del Estado de México en el 2004 diseñó un programa de creación de áreas naturales protegidas (ANP) conocidas como santuarios de agua. En Valle de Chalco, las lagunas de Xico cuentan con



esta distinción, la superficie decretada cuenta con 1,556 ha, abarcando tierras inundadas, ciénagas, pastizales y matorrales, en los Ejidos de Tláhuac y San Miguel Xico.

Sin embargo, aunque esta ANP está destinada a la preservación, protección, conservación y restauración y aprovechamiento del entorno, aún continúa la invasión en la zona lacustre debido a la transformación que ha sufrido el sistema y también al origen de su suelo. Las problemáticas que se observan son diversas, sin duda un grave problema es la contaminación en el agua por descargas residuales vertidas utilizándose dos corrientes como drenaje, el río Ameca y canal Acapol. El primero viene contaminando desde el área de San Andrés Mixquic y sus aguas son reutilizadas en la parte sur del municipio en la zona de cultivo, resultando un grave riesgo de infección para los consumidores de estos alimentos.

La contaminación del suelo, también es otro factor que pone en riesgo la zona, la erosión del suelo ha provocado dos fenómenos la vertisolización en el cual el suelo se agrieta y se invierte y la alta concentración en sales, ocasionando que los trabajos agrícolas sean más difíciles y reduciendo la capacidad de carga del terreno. El uso de aguas residuales para riego ha ido bajando la productividad de los suelos. Las zonas inundables también han sido por desechos sólidos provenientes de los asentamientos humanos irregulares, los cuales han sido utilizados como tiraderos a cielo abierto, aunado a los vertidos de cascajo en el ANP santuario de lagunas de Xico, en las inmediaciones de la central de abasto erigida en la zona sur del Valle, (Figura 4.17).



Figura 4.17. Descargas residuales.  
Fuente: Buenrostro (2015).



### 4.3 Metodología

En esta sección se detalla el trabajo de campo, a través de la toma de muestras puntuales en siete puntos del cuerpo de agua, la recolección de muestras complejas para su análisis en laboratorio y la búsqueda del estado del conocimiento para analizar la viabilidad del humedal artificial híbrido.

La metodología de tipo cuantitativa refiere tres etapas, la primera de ellas el reconocimiento del estado del arte para conocer los antecedentes del sistema hídrico, revelando importantes trabajos realizados por instituciones como la UNAM y la UAM, así como ejidatarios y colonos interesados en el rescate de las Lagunas de Tláhuac-Xico, con propuestas integrales de solución a largo plazo. No así para el caso de estudio de San Miguel Xico, donde los pequeños remanentes lagunares han servido como vertederos a cielo abierto.

La segunda etapa contempló el trabajo de campo en los dos cuerpos hídricos formados aguas abajo del manantial originado por la sierra del Chichinautzin en la zona de recarga del acuífero del Valle de México, estos cuerpos de agua constituyen la laguna de San Miguel Xico. El muestreo se realizó mediante muestras simples y complejas, se recopilaron datos a partir de las mediciones mensuales en un ciclo anual de marzo de 2015 a marzo de 2016. Las muestras puntuales fueron analizadas en el sitio con un equipo de campo colorímetro portátil y un medidor de pH, temperatura, conductividad, sólidos suspendidos totales y color en siete puntos de medición de los ecosistemas acuáticos. Las muestras compuestas se trabajaron en laboratorio para su análisis, (Ver tablas en anexo 1).

La tercera etapa consistió en analizar los procesos biotecnológicos aplicables a las necesidades de las lagunas de San Miguel Xico, a partir del estudio ambiental y de acuerdo con el tipo de contaminantes detectados y sus concentraciones, estableciendo el diseño de una línea de tratamiento hídrico y finalmente se estructuró la propuesta de



bio restauración para el sistema a través de un humedal artificial subsuperficial híbrido, que contribuya en las estrategias del plan de desarrollo urbano del municipio.

#### 4.3.1 Área de influencia

Valle de Chalco Solidaridad es un municipio perteneciente al Estado de México (INEGI, 2012), se localiza al oriente de la Ciudad de México y se posa en el lecho del ex lago de Chalco, presenta una superficie de 46.36 km<sup>2</sup>. Es una de las zonas con mayor población, se localiza en la zona lacustre del Valle de México. (Figura 4.18).



Figura 4.18. Zona de estudio, San Miguel Xico.  
Fuente: Adaptado de mapas Earth 2016

Los embalses de agua que constituyen Xico cuya delimitación espacial al norte con los municipios de Ixtapaluca y la Paz, al sur y este con Chalco y al oeste con la delegación Tláhuac, cuyas coordenadas geográficas (Imagen 18) son **N** 19° 20' 21" de latitud norte; **S** 19° 13'30" de latitud norte; **E** 98° 58'34" de longitud oeste y al **O** 98° 54'30" de longitud oeste.



Constituido por un sistema de remanentes lagunares como antecedentes del lago original.

Es un área dedicada al cultivo de diversas hortalizas y plantas ornamentales. Hay presencia de descargas de asentamientos irregulares, fugas del sistema precario de drenaje, así como fuentes dispersas por fecalismo a cielo abierto. Recibe aguas residuales parcialmente tratadas para el riego de cultivos (Juárez et al 2003).

#### 4.3.2 Revisión y recopilación de datos

Los parámetros físico-químicos dan una información amplia de la naturaleza química del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco, Pérez, González, Rodríguez y Alfayate, 2005).

Hoy en día existen en el mercado un sinnúmero tecnologías y equipos que pueden ser utilizados para la medición de aguas dulces y marinas observando diversos parámetros físicos, químicos y biológicos para su análisis.

El objetivo se centró en realizar un estudio ambiental para conocer el status hídrico a través de parámetros físico- químicos y biológicos, de acuerdo con la norma oficial NOM-003-SEMARNAT-1997, asimismo, se identificaron los factores bióticos y abióticos del proceso de contaminación del lago de Xico.

#### 4.3.3 Trabajo de campo

La zona cuenta con dos pequeños embalses (Figura 4.19) la mayor (C) cuenta con un área aproximada de 47396.924 m<sup>2</sup> y la menor (B) 3491.195 m<sup>2</sup>.







Figura 4.19. Remanentes lagunares de la zona de Xico.  
Fuente: Propia (2015).

El muestreo se realizó mediante muestras simples y complejas, en forma estratigráfica en función de la dirección del flujo. La recopilación de datos a partir de 13 muestreos mensuales de marzo de 2015 a marzo de 2016, (Figura 4.20).



Figura 4.20. Puntos de muestreo.  
Fuente: Propia (2015).



Se realizó un aforo de llegada al embalse “b”, con el apoyo de un estadal se formalizó un vertedor para calcular el área transversal y de esta forma conocer el caudal de entrada de agua al embalse “b” de la cual se obtuvo un caudal aproximado de 1.67 litros/segundo, datos referidos en la tabla 1.

**TABLA 1. DIMENSIONES Y PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL EMBALSE “B”**

PARÁMETRO	Resultado
ÁREA (M <sup>2</sup> )	3491.2
ALTURA (M)	1.48
VOLUMEN (M <sup>3</sup> )	5166.976
CAUDAL (L/S)	1.67
TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (H)	8.56

Fuente: Propia (2016).

Se realizó el muestreo con ayuda de un vaso de Van Dorn a una profundidad aproximada de 1.20 m utilizando una balsa inflable con remos y un cuerdo guía (Figura 4.21).



Figura 4.21. Áreas de muestreo en las lagunas “b y c”.

Fuente: Propia (2016).

Se dividió el lago “b” en tres secciones, para las cuales se tomaron muestras cada 4 horas durante 24 horas, de estas se realizó una muestra compuesta de la que se



determinaron parámetros de campo; el mismo procedimiento de muestreo se realizó en un punto de entrada del lago “c”, las muestras compuestas resultantes fueron colectadas en recipientes de polietileno de alta densidad de 0.2 L, se les agregó de acuerdo con los lineamientos de EPA (1983) Y APHA (1995) ácido nítrico concentrado para metales pesados y se colocaron en hieleras para su análisis en laboratorio y así conocer los contaminantes presentes en el lago como son metales pesados, coliformes, huevos de helminto, DBO Y DQO, mismos que se refieren en este documento en el apartado de resultados.

Las muestras puntuales fueron analizadas en el sitio con un equipo de campo colorímetro portátil y un medidor de pH, temperatura, conductividad, sólidos suspendidos totales y color multiparamétrico Hanna Instruments 9812, el pH fue calibrado con tres soluciones buffer (4, 7 y 10). Se realizó la determinación de coliformes fecales por el método de NMP (Número Más Probable), estas determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de la UAM. Las muestras colectadas para cationes fueron acidificadas hasta  $\text{pH} < 2$  con  $\text{HNO}_3$  Ultrex a fin de estabilizar los metales y evitar que la precipitación disminuya la concentración original. Los datos observados se muestran en las tablas en el anexo 1.

Se tomaron las muestras para ser analizadas en laboratorio para comparar los diferentes parámetros de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT/1997, y con ello determinar y comparar los límites máximos permisibles para la calidad del agua del lago de San Miguel Xico como caso de estudio y para sus posibles usos, en este caso en específico es utilizado para el riego de cultivos aledaños al sistema, mencionando que los agricultores del área cuentan con un cuerpo de agua tratada para este uso.

No obstante, para fines de esta investigación, fue necesario observar la dinámica del ecosistema hídrico con una visión futurible para el diseño sustentable y de paisaje, en





los cuales la NOM-003-SEMARNAT/1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para el agua.

Las tablas sugieren en un primer discurso y acorde con los datos obtenidos, se puntualiza que las características y condiciones del lugar son semejantes de un punto a otro en el muestreo realizado, en algunos casos no se logró determinar la concentración de color en el lago debido a la presencia de abundantes solios sedimentables, lo que refiere a una turbidez que provoca la dispersión de la luz que atraviesa la muestra de agua colectada.

#### **4.3.4 Trabajo de gabinete**

Las muestras compuestas se trabajaron en laboratorio para su análisis. Se obtuvo un caudal promedio de 1.67 litros por segundo en 24 horas de medición y en intervalos de cuatro horas para cada medición. Los resultados se compararon con la normatividad vigente para los siguientes usos: Reúso en servicios al público con contacto directo, uso recreativo de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-003-SEMARNAT/1997/2000.

Reúso en riego agrícola, de acuerdo con el tipo de cultivo y el uso potable, uso y consumo humano en la modificación-actualización de la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994. Los criterios de comparación se realizaron de acuerdo a los niveles de deficiencia de calidad publicados por la American Water Works Association (AWWA), la United States Environmental Protection Agency (USEPA) y la World Health Organization (WHO).

Conveniente mencionar sobre la decisión de los parámetros físico-químicos que se evalúan en el sistema hídrico del estudio de caso dependiendo el propósito del trabajo, De la Lanza (1990), Arredondo y Ponce (1998) y Romero (1999), los análisis hidrológicos de rutina ayudan a la interpretación de la capacidad productiva de los cuerpos de agua.



Asimismo, el análisis de datos observados tanto en campo como en gabinete, se sometieron al programa interactivo *MATLAB* para la obtención de gráficos que representan los niveles máximos permisibles de contaminantes encontrados en cada prueba puntual de parámetros durante el muestreo anual, se consideró adecuado utilizar tamaños de muestra para el análisis de Ph, conductividad, sólidos suspendidos totales, temperatura del agua y ambiente, turbidez y sólidos disueltos totales parámetros en siete puntos del área de estudio, refiriendo que las muestras obtenidas no reflejaron variaciones extremas entre un punto y otro, de acuerdo al coeficiente para cada parámetro mencionado, a partir de la siguiente expresión:

$$y = p1*z^3 + p2*z^2 + p3*z + p4 \quad \text{dónde:}$$

---


$$z = (x - \mu) / \sigma$$

---


$$\mu = 175.92$$

---


$$\sigma = 109.28$$


---

El valor del tamaño de la muestra se manejó a través de la fórmula indicada por Burns y Busch (2001):

$$[n = z^2 s^2 / e^2], \quad \text{dónde:}$$

---

**n** = es el tamaño de la muestra

---

**z** = valor normal estándar (95%)

---

**s** = desviación estándar

---

**e** = % de error

---

El valor de confianza del 95% equivalente en tablas (1.96), el porcentaje de error representa el 5%. (Ver tablas de intervalo de confianza en anexo 2).



## V. PROCESO DE DISEÑO

*“Las ideas no se imponen, se proponen”*

*Juan Pablo II*



## Introducción

Pensar, expresar y representar son los elementos que nutren y se desenvuelven para mostrar la creatividad, suelen ser las trayectorias a las que tienden las distintas descripciones del acto creativo en función de su origen o preferencias. El acto creativo consiste en ver una relación nueva entre dos o más cosas que permita conseguir un efecto, resolver un problema o producir un determinado resultado.

### 5.1 Requerimientos de diseño

Especifican y dan cumplimiento a las funciones de la línea de tratamiento para la bio restauración del sistema hídrico del estudio de caso, así como las propiedades esenciales y deseables. Un requerimiento expresa el propósito del sistema, para este caso específico el tren fisicoquímico como pre tratamiento al sistema de bio restauración, asimismo, estos requerimientos identifican el qué del sistema de tratamiento y el diseño establece el cómo del sistema.

#### 5.1.1 Requerimientos funcionales

El proyecto atiende a necesidades que debe cubrir en cuanto a la funcionalidad que debe cubrir para satisfacer un requerimiento en los diversos usos de agua, para riego, para contacto directo, o bien para vida acuática, de acuerdo con las normas mexicanas establecidas.

- ✓ Ubicación de la línea de tratamiento optimizando espacio y los procesos de operación
- ✓ Consideración de espacios para el manejo y mantenimiento de las instalaciones.
- ✓ Guía de seguridad para el personal que preste mantenimiento a la línea de componentes para el tratamiento de aguas.
- ✓ Distribución de espacios, en el desarrollo y crecimiento del mismo en un plano futurible.
- ✓ Distribución de los espacios considerando las dimensiones de la infraestructura y equipos de operación.



- ✓ Considerar áreas de resguardo de materiales y herramientas.
- ✓ Identificar y ubicar espacios y pasillos de circulación para el desplazamiento y monitoreo de la línea de tratamiento de agua.

### 5.1.2 Requerimientos ambientales

Diseñar es una actividad compleja que implica observar, detectar disfunciones, cuestionar (Vanden, 2000) y proponer escenarios nuevos, implica tomar decisiones que afectarán o beneficiarán a otros, elegir considerando el sitio. Diseñar es una actividad de síntesis, en este sentido, es importante considerar:

- ✓ Identificar los espacios apropiados para la instalación de la línea de tratamiento, observando el respeto y conservación del entorno, evitando el impacto al ambiente.
- ✓ Selección de herramientas de bajo impacto ambiental en la generación de ruidos, olores.
- ✓ Establecer un área para el tratamiento de lodos, evitando deterioro del paisaje y contaminación visual.

### 5.1.3 Requerimientos técnicos

El diseño como producto del proceso de tratamiento de agua del sistema acuático de San Miguel Xico, reside es definir como resultado del tránsito por un pasaje, en el que paso a paso se logra avanzar para llegar a un propósito. La ventaja incluida en esta perspectiva es que se puede discutir los elementos del contexto que actúan como precursores del proceso, para cada tren de tratamiento y/o potabilización debe considerarse diferentes factores para la evaluación del proceso:

- ✓ Cumplimiento de requisitos reguladores
- ✓ Capacidad del proceso para tratar agua bruta con las variaciones o fluctuaciones comparada con la esperada.
- ✓ Nivel de formación de equipo de operación
- ✓ Complejidad del proceso del tren de agua.
- ✓ Necesidad de monitoreo, planes de muestreo y análisis
- ✓ Viabilidad a largo plazo



- ✓ Compatibilidad con las restricciones físicas del lugar.
- ✓ Compatibilidad con los procesos existentes en planta
- ✓ Necesidad de energía
- ✓ Costo de capital

#### 5.1.4 Requerimientos estéticos y sociales

- ✓ Naturalidad en el diseño
- ✓ Equilibrio en el diseño del tren de tratamiento de agua.
- ✓ Armonía entre la línea de acabado para el tratamiento de agua y el diseño de paisaje.

### 5.2 Diagrama de línea de componentes para el tratamiento

Para el diseño se considera los resultados de los análisis de agua residual y la legislación ambiental vigente, de igual manera el objetivo de reusar el agua residual una vez tratada para riego agrícola, riego de áreas verdes y vida acuática. La figura 5 muestra las fases del proceso de tratamiento para este caso de estudio.

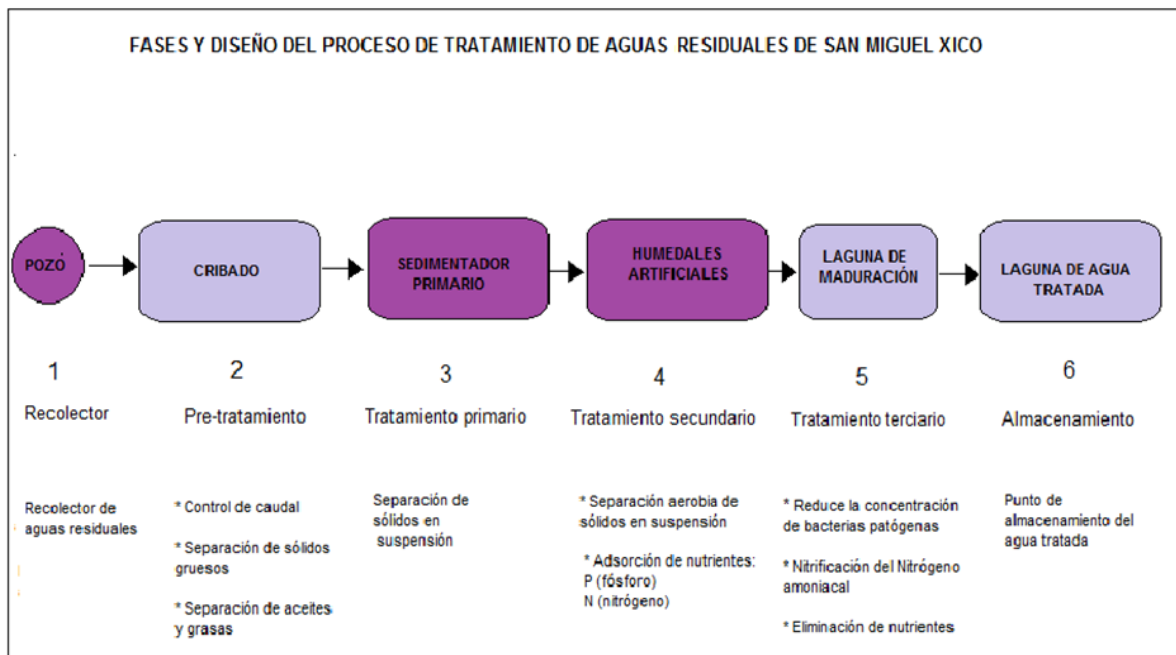


Figura 5. Diagrama de tratamiento para San Miguel Xico.  
Fuente: Propia



### 5.2.1 Criterios de diseño de la línea de tratamiento

En este apartado se esbozan los criterios y cálculos establecidos y utilizados por diferentes investigadores en la implementación de humedales artificiales, dónde señalan y proponen ecuaciones para el cálculo de caudal, dimensiones de componentes de la línea a utilizar y que derivan en el diseño y propuesta de bio restauración que se observa en la solución integral en la sección de resultados.

Este consiste en canales de conducción del agua de la laguna “a” que se encuentra 30 metros al Sur de la laguna “b” donde se ubicará el sistema. Es importante mencionar que se establecen 12 componentes de la línea de tratamiento: pre-tratamiento (incluye cribado, compuertas, trampa para grasas, pozo de abastecimiento, bomba, filtro y canal vertedor tipo Parshal); tratamiento primario (sedimentador), tratamiento secundario (sistema híbrido de humedales artificiales y laguna de maduración); tratamiento terciario o pulimento, que se representa y orienta a la laguna “c”, para los fines a la que sea destinada (uso para riego agrícola, uso para vida acuática, uso para contacto directo o recreativo, etcétera), de acuerdo con el plan de desarrollo municipal que requiera adaptarlo y considerarlo en la agenda, así como también a lo establecido por la normatividad vigente. Los criterios que se sugieren son:

### 5.2.2 Pre tratamiento

Realiza la separación de sólidos gruesos, grasas y regula de mejor manera el caudal para el proceso siguiente:

#### Rejillas

De acuerdo con Lozano-Rivas (2012), refieren que los criterios de diseño de las rejillas se basan en la velocidad de paso del flujo de agua a través de ellas, si bien, esta velocidad no debe ser tan baja que ocasione la sedimentación de sólidos, y tampoco debe ser tan alta que cause el arrastre de los sólidos ya retenidos por la rejilla. La tabla 2 muestra los valores sugeridos.



**TABLA 2. CRITERIOS DE DISEÑO DE REJILLAS DE DESBASTE**

PARÁMETRO	RANGO
Velocidad mínima de paso	0,6 m/s (a caudal medio)
Velocidad máxima de paso	1,4 m/s (a caudal punta)
Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza	30%
Pérdida de carga máxima admisible	15 cm (a caudal medio)

Fuente: Lozano-Rivas (2012).

El área en la zona de la rejilla se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$A_R = B_c \left( \frac{L}{L+b} \right) \left( 1 - \frac{G}{100} \right)$$

Donde:

**AR** [área útil del canal en la zona de la rejilla ( $m^2$ )], **Bc** [ancho del canal (m)], **L** [espacio entre barrotes (m)], **b** [ancho de barrotes (m)], **G** [grado de colmatación, usualmente se adopta un valor de 30%].

Debido a que los barrotes restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, se hace necesario, en ocasiones, incrementar el ancho del canal en la zona donde está ubicada la criba o aumentar la profundidad.

La pérdida de carga generada por la rejilla (diferencia de altura de la lámina de agua antes y después del paso por la rejilla se puede calcular con la ecuación propuesta por Lozano-Rivas, 2012).

$$\Delta H = \beta \left( \frac{b}{L} \right) \left( \frac{V_p^2}{2g} \right) \text{sen} \theta$$

Donde:

**ΔH** [pérdida de carga generada por la rejilla (m)], **β** [factor dependiente de las barras circulares], **b** [diámetro de barrotes (m)], **L** [espacio entre barrotes (m)], **Vp** [velocidad de paso del agua a través de la rejilla (m/s)], **g** [aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)] y **θ** [Ángulo de inclinación de los barrotes (°)]





El número de barrotes se puede calcular con la siguiente ecuación: 
$$N = \frac{BR-L}{b+L}$$

Donde:

**N** [número de barrotes], **BR** [ancho del canal en la zona de rejilla (m)], **L** [espacio entre barrotes (m)], **b** [ancho de barrotes (m)]. Generalmente una rejilla fina retiene 12 a 25 ml/d\*habitante, mientras que una rejilla gruesa 5 a 12 ml/d\*habitante.

Asimismo, el uso de una compuerta general ubicada en la laguna aledaña a los cuerpos de agua estudiados misma que provee de agua al sistema, se requiere para el control del afluente. Posterior a la compuerta general, se considera mediante sistemas de tratamiento preliminar el uso de trampa para grasas y aceites en la prevención de taponamientos de tuberías. Consta de tres compartimientos, entrada, salida y el área de separación o intermedia en la cual la grasa y el aceite quedan retenidas. Las trampas para grasas en la actualidad son una estrategia a nivel local, dando servicio desde el ámbito doméstico hasta el ámbito industrial y de servicios. La literatura refiere el uso de fibras naturales de pita y de coco como filtros en la retención de grasas con buenos resultados (Díaz y Jiménez, 2014).

El mantenimiento en la trampa para grasas resulta beneficio si el exceso de grasa es removido de forma continua (diario) para evitar taponamientos y permitir su buen funcionamiento y cumpla con el objetivo deseado. Los avances en ciencia y tecnología hacen evidente el uso de cepas bacterianas que permitan mejorar la calidad del efluente y potencializar el funcionamiento en este tratamiento preliminar, las bacterias o consorcios biológicos poseen al menos una mezcla de enzimas entre lipasa, proteasa y amilasa y a combinarse con cepas bacterianas no patógenas se encargan de degradar los aceites y grasas así como la materia orgánica, el objetivo es que degraden y acorten las cadenas de grasas, alimentándose y eliminando.



La OPS/CEPIS (2003) sugieren las siguientes especificaciones para el diseño de la trampa de grasa:

- ✓ La relación larga/ancho del área superficial comprendido entre 2:1 a 3:2.
- ✓ La profundidad deberá ser mayor a 0,80 m y menor a 2.00 m.
- ✓ El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser mayor 0,30 m.
- ✓ Forma cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal.
- ✓ Conexiones entre el compartimento de almacenamiento o desalojo de grasa a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua.
- ✓ Para caudales inferiores a 1L/s, el volumen máximo de tanque será de 2m<sup>3</sup>.
- ✓ El tiempo de retención hidráulico será menor a 45minutos y permitirá regular un caudal constante a través de todo el sistema consecuente.

Para esta fase de pre-tratamiento también se considera un pozo recolector que concentra las aguas de desecho.

### 5.2.3 Tratamiento primario

En esta fase impera la importancia de eliminar por efecto de gravedad los sólidos suspendidos que contiene el agua del afluente, esto se logra de forma libre o asistida con químicos que acumulan las partículas para que consigan peso y puedan decantar con mayor velocidad. La mayoría de los sólidos suspendidos a ser eliminados son en su mayoría materia orgánica, con lo cual se manifiesta una disminución significativa en la concentración de DBO del efluente. García y Corzo (2008), mencionan que el manejo unitario frecuentemente utilizado para el tratamiento primario de aguas residuales son reactores anaerobios y deflectores.



### Sedimentador

Las fuentes superficiales de agua contienen gran cantidad de materia en suspensión que oscila entre partículas pequeñas de 0.2 mm y superiores a 0.05 mm, siendo necesaria su remoción.

### Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación se establece a partir del diámetro del material particulado indicado en el párrafo anterior, en este sentido los datos se corresponden como se muestra en la tabla 3.

**TABLA 3. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN**

Q = Caudal	0,002	m <sup>3</sup> /s
$\rho P$ = Densidad relativa partícula	2,65	g/cm <sup>3</sup>
$\rho f$ = Densidad del agua	0,998≈1	g/cm <sup>3</sup>
$\eta$ = Viscosidad del agua	0.01	cm <sup>2</sup> /s
d = Diámetro de partículas	0.02	cm
g = Gravedad	980	cm/s <sup>2</sup>
T= Temperatura del agua	20	°C

Fuente: Elaboración propia (2016).

Utilizando la Ley de Stokes se tiene la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{g}{18} \left( \frac{\rho_p - \rho_f}{\eta} \right) d^2$$

Se evidencia a partir del número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_s d}{\eta}$$

De acuerdo Reynolds, establece que se debe cumplir para la aplicación de la ley de Stokes ( $Re < 0.5$ ), entonces si los valores calculados ( $Re > 0.5$ ) caen en la zona de transición, por lo que el coeficiente  $C_D$  se calcula con la ley de Allen:

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$



Una vez que se conoce el valor, se considera determinar la velocidad real de sedimentación de la partícula en la zona de transición a partir de la ley de Newton que establece:

$$V_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_D}(\rho_P - 1)d}$$

Szilveszter (2014) señala que al utilizar una constante  $\varphi=20$  para sedimentación de un floculo, se tiene:

$$V_s = \sqrt{\frac{4g}{3C_D\varphi}(\rho_P - 1)d}$$

### Cámara de sedimentación

Otro aspecto importante que se considera es la cámara de sedimentación y de acuerdo a los criterios de diseño que expresa la OPS/CEPIS (2005), se debe suponer lo siguiente:

- ✓ Calidad fisicoquímica del agua
- ✓ El espacio de operación es de 24 horas por día.
- ✓ El lapso de retención oscila entre 2 a 6 horas.
- ✓ EL establecimiento de la pantalla difusora debe considerar 0,70 a 1 metro de distancia de la pared de entrada.
- ✓ Los orificios más altos de la pantalla difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.
- ✓ La carga superficial fluctúa entre 2-10 m<sup>3</sup> /m<sup>2</sup> / día.
- ✓ La profundidad del sedimentador se indica entre 1.5 – 2.5 m.
- ✓ La correlación entre dimensiones se establece entre largo y ancho (L/B):

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

- ✓ La correlación entre dimensiones de largo y profundidad (L/H) se indica:

$$5 < \frac{L}{H} < 20$$

- ✓ El fondo de la unidad considera una pendiente que oscila de 5 a 10 %.



- ✓ La velocidad en los orificios no debe superar a 0,15 m/s para no perturbar dentro de la franja de sedimentación.
- ✓ Aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- ✓ La deposición de lodos se debe situar en el primer tercio de unidad, toda vez que el 80% del volumen se ubica en esa área.
- ✓ El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o menor a 3 l/s.
- ✓ La relación de la velocidad de flujo y las dimensiones de altura y largo se plantea:

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

### Dimensiones del sedimentador

En este sentido, para las dimensiones del sedimentador se determina el área superficial de la unidad ( $A_s$ ), de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación:  $A_s = \frac{Q}{V_s}$

Dónde:

$V_s$  [velocidad de sedimentación (m/s)],

$Q$  [caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)].

O bien se utiliza la expresión:  $A_s = \frac{Q}{C_s}$

Dónde:

$Q$  [caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)],

$C_s$  [carga superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día)].

Las dimensiones de largo  $L$  (m), ancho  $B$  (m) y altura  $H$  (m) se establecen de forma que se cumplan las relaciones descritas anteriormente. Asimismo, se debe considerar el espacio entre la entrada y la cortina o pared de distribución de flujo. Se fija la velocidad horizontal  $V_H$  (m/s) de la unidad que señala la ecuación:

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$



Para calcular la velocidad de arrastre  $V_d$  (m/s) de la unidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_d = \sqrt{\frac{8 k * g (\rho_s - 1) d}{f}}$$

Dónde:

$k$ = factor de forma (0.04, que comprende las arenas uni-granulares no adheribles)

$V_d$ = Velocidad de desplazamiento (cm/s)

$f$ = factor de fricción de Darcy-Weisbach (0.025)

El tiempo de retención hidráulico en horas, se expresa:

$$THR = \frac{As * H}{3600 * Q}$$

El número de orificios de la pantalla difusora, de acuerdo con los criterios de diseño se evalúan con el término:

$$A_o = \frac{Q}{v_o}$$

Dónde:

$A_o$ = Área total de orificios ( $m^2$ )

$v_o$ = Velocidad en los orificios (m/s)

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Si:

$n$ = número de orificios

$a_o$ = Área de cada orificio ( $m^2$ )

$A_o$ = Área total de orificios ( $m^2$ )

#### 5.2.4 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es un proceso biológico que actúa a través de los microorganismos que son consumidores de materia orgánica y la transforman en



sustancias inocuas. En esta fase también es posible reproducir los procesos naturales de estabilización de materia orgánica presente en el sistema de agua, además que potencializa la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y de sólidos suspendidos totales hasta en un 85%. (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

### **Humedales artificiales de flujo sub superficial (HASS)**

Para establecer las condiciones del humedal artificial, la ONU/HABITAT (2008), describen que un humedal es una cubeta de profundidad mínima rellena de material o substrato como arena, grava y con vegetales resistentes a condiciones de saturación. Las aguas a tratar circulan por la cubeta y fluyen por la superficie del substrato y son vertidas fuera de este por medio de una estructura que controla la profundidad de las aguas al interior del humedal.

Por lo tanto, un humedal se constituye de:

- ✓ Cubeta o espacio receptor
- ✓ Substrato o lecho filtrante
- ✓ Vegetación de la zona
- ✓ Geomembrana
- ✓ Estructura de entrada y salida

Los humedales artificiales son estrategias que se utilizan alrededor del mundo, sobre todo en países desarrollados, sin embargo, en países emergentes han sido aceptados con gran agrado por las bondades que poseen. Por un lado, los humedales de flujo vertical se les atribuyen mayor capacidad de transferencia de oxígeno lo que refiere en términos de columna de agua una buena nitrificación.



Asimismo, este tipo de humedal son más pequeños que los de tipo horizontal, toda vez que la literatura refiere la capacidad de eliminar eficientemente DBO, DQO y patógenos. Los criterios básicos para el diseño de un humedal artificial se muestran en la tabla 4.

**TABLA 4. PARÁMETROS DE DISEÑO DE HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL Y HORIZONTAL**

<b>HUMEDAL DE FLUJO VERTICAL</b>			
<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor Usual</b>
<b>Medio filtrante</b>			
Arena fina lavada (secundario)	m	0.25-0.75	0,35
Grava fina (primario)	m	2-8	2-5
Profundidad	cm	45-90	60
Coeficiente uniformidad	%	3-6	<4
Porcentaje finos		2-5	<4
<b>Drenaje</b>			
Clase tubería perforada			
Tamaño	Pulgadas	3-4	4
Pendiente	%	0.1-1	0.5
Grava de drenaje	mm	20-40	40
<b>Distribución del agua</b>			
Diámetro de tubería	Pulgadas	1-2	1.5
Distancia entre tubería	m	0.5-1.2	0.6
Orificio de distribución	mm	3-8	6
Distancia entre orificios	m	0.5-1.2	0.6
<b>Hidráulica</b>			
Carga hidráulica	L/m <sup>2</sup> /día	40-60	50
Carga orgánica	Kg DBO/m <sup>2</sup> /día	0.0025-0.01	<0.005
<b>Dosificación</b>			
Frecuencia	Veces/día	4-24	12
Volumen/orificio	L/orif./dosis	0.6-1.1	0.9
Tiempo aplicación	Minutos	2-15	5
<b>HUMEDAL DE FLUJO HORIZONTAL</b>			
<b>Medio filtrante</b>			
Grava, ingreso y salida	mm	40-100	50
Grava media	mm	5-10	8
Profundidad del medio	m	0.7-1.5	0.7
Pendiente	%	0.5-1	1
Relación largo-ancho		2:1-7:1	3:1
<b>Factor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor usual</b>
<b>Drenaje</b>			
Tubería perforada	Pulgada	3-4	4
<b>Distribución del agua</b>			
Tubería perforada	Pulgada	3-4	3





<b>Hidráulica</b>			
Profundidad del agua	m	0.1-0.8	0.6
Carga orgánica	Kg DBO/m <sup>2</sup> /día	3-7.5	<11
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	0.1-0.2	

Fuente: Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, (2010).

### Dimensiones de un humedal

El tamaño del humedal está basado en la ecuación de Kickuth:  $Ah = \frac{Qd(\ln Ci - \ln Ce)}{K_{DBO}}$

Donde:

**Ah** = Área de superficie del lecho, en m<sup>2</sup>

**Qd** = Nivel promedio de flujo diario de desechos en m<sup>3</sup>/día

**Ci** = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente, en mg/l

**Ce** = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente, en mg/l

**K<sub>DBO</sub>** = Constante de velocidad, en m/día

Dónde:

**K<sub>DBO</sub>** se establece a partir de la formula **KTdn**.

$$K_T = K_{20} (1,06)^{T-20}$$

Donde:

**K<sub>20</sub>** = Constante de velocidad a 20°C, en día<sup>-1</sup>

**T** = Temperatura de operación del sistema, en°C

**d** = Profundidad de la columna de agua, en metros

**n** = Porosidad del sustrato, en porcentaje expresado en forma de fracción



La relación largo-ancho del humedal tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del agua; es recomendable usar la relación 3:1. Asimismo, para humedales que funcionaran como tratamiento secundario la condición es que el caudal de aplicación sea mayor al caudal de infiltración y la fórmula del caudal de infiltración se reduce a:

$$Q_i = A_s * K_s * 3600$$

Donde:

$Q_i$  = Caudal de infiltración, en  $m^3/h$

$A_s$  = Área superficial, en  $m^2$

$K_s$  = Conductividad hidráulica

#### Tiempo de residencia hidráulico

El tiempo de residencia hidráulico se define como:  $TRH = \frac{n * L * W * d}{Q}$

Dónde:

$n$  = Porosidad efectiva del medio

$d$  = Profundidad promedio del líquido en el lecho, en m

$L$  = Longitud del lecho, en m

$W$  = Ancho del lecho, en m

$Q$  = Caudal promedio a través del lecho, en  $m^3 /d$

#### Profundidad del humedal



La profundidad del substrato en un (HASS) se limita cerca de la profundidad de las raíces de los vegetales, de esta forma, las plantas entran en contacto con el afluente e intervienen en el tratamiento. No obstante, es importante cuidar el tiempo de retención hidráulica, y se sugiere un sustrato cuya profundidad medie de 70cm y 90 cm, toda vez que puede incidir en una nitrificación adecuada que beneficie en la remoción de contaminantes orgánicos.

### Área transversal del lecho

En los (HASS) el área de la sección transversal se calcula con la expresión:  $Av = \frac{Q}{Ks \cdot S}$  Sí:

**Q** = Caudal promedio a través del lecho, en  $m^3/d$

**Ks** = Conductividad hidráulica

**S** = Pendiente del fondo del humedal

### Elección del lecho filtrante

Los lechos cumplen diferentes funciones: por un lado son material de enraizamiento para la vegetación, ayudan a distribuir, recolectar de manera uniforme el caudal en la entrada y salida, además proveen área superficial para el crecimiento de los microbios, filtran y atrapan las partículas, estas pueden ser pequeñas con conductividad baja y forman un flujo superficial, las de gran tamaño son de conductividad alta pero disponen de pequeñas áreas de superficie húmeda por volumen unitario de hábitat microbiana, entonces, un lecho con partículas gruesas y angulares es adverso a la propagación de las raíces.

Los materiales de tamaño medio, habitualmente caracterizados como gravas, suelen complicar el buen funcionamiento por lo que se sugiere un lavado previo a su uso, toda vez que de esta manera pueden eliminar arenas finas que podrían bloquear los espacios huecos. Se recomienda usar arena (0 a 4 mm) como substrato principal con un  $d_{10} > 0,3$  mm y un  $d_{60}/d_{10} < 4$  y con una permeabilidad de  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  m/s.



Algunos lechos de uso común son el **carbón activado** como medio filtrante de origen vegetal cuya estructura está conformada por poros microscópicos que presenta una elevada área superficial, permitiendo la adsorción y absorción y retirar de agua olor, color, sabor, cloro y trazas de químicos presentes. La **zeolita** son silicatos naturales que tienen propiedades especiales de estructura micro poroso, con cualidades de adsorción y absorción.

Adicionalmente retira por intercambio iónico elementos como Ca, Mg, Ag, Cr, Hg entre otros, las zeolitas tiene una gran afinidad con el nitrógeno. Por su parte, las **arenas de sílice** como lecho filtrante mediante una red, donde el área es la primordial variable para retirar del agua partículas en suspensión, debido a su alta densidad admiten un ajuste de sus granos de tal forma que, dependiendo de su tamaño, retiran del agua partículas de diferentes tamaños, por ejemplo, si el tamaño del grano es pequeño pueden retirar partículas hasta unos 10 micrones o menos.

Las **antracitas**, lecho filtrante, es un carbón mineral molido, se utiliza para aumentar las carreras de filtración de los filtros que contienen arenas de sílice. La antracita es un material de menor densidad que la de sílice por esta razón la arena de sílice, siempre permanece en la parte de abajo y la antracita funciona como un filtro de volumen en la parte superior aumentando la filtración.

Las **resinas de intercambio** son medios filtrantes para retirar del agua elementos como Ca, Mg, Fe, en el caso de ser catiónica, si es aniónica pueden retirar aniones como cloruros, carbonatos, sulfatos u otros. Estas resinas actúan por intercambio iónico similar a las zeolitas.

La tabla 5 señala las principales características de los sustratos empleados para el diseño y construcción de humedales para flujo vertical y horizontal



**TABLA 5. MATERIALES DE USO EN EL DISEÑO DE HUMEDALES**

Tipo de material	Tamaño efectivo d10 (mm)	Conductividad hidráulica, Ks ( $m^3/m^2/d$ )
Arena gruesa		100-1000
Arena gravosa	8	500-5000
Grava fina	16	1000-10000
Grava media	32	10000-50000
Roca gruesa	128	50000-250000

Fuente: Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, (2010).

### Gradiente del lecho

El gradiente inferior debe coincidir con el gradiente del nivel hídrico con el objeto de mantener la profundidad del agua uniforme a lo largo del lecho. Lo más práctico sería lograr que el fondo forme un gradiente uniforme a lo largo de la dirección del flujo desde la entrada hasta la salida, facilitando de esta manera el drenaje cuando sea necesario hacer el mantenimiento. No se ha investigado cuál sería el gradiente óptimo, no obstante, se recomienda que sea de 0.5% a 1% para facilitar tanto la construcción como el drenaje correcto.

### Sellado del lecho

Los suelos del área de estudio se pueden utilizar para sellar los humedales si su contenido es alto en arcillas, suficiente para conseguir la permeabilidad necesaria. Con base a su disponibilidad se logra seleccionar membranas impermeabilizantes. Para su instalación, es menester preparar el substrato evitando que éste contenga materiales que puedan perforarla. El grosor de las membranas depende de la permeabilidad del suelo.

### Estructuras de entrada y salida

Las estructuras de entrada y salida distribuyen el caudal y controlan su recorrido a través del humedal, así como la profundidad del agua.



La figura 5.1 detallan las múltiples estructuras de entrada y salida ubicadas a cada extremo del humedal son fundamentales para asegurar la distribución uniforme del afluyente a través del mismo.

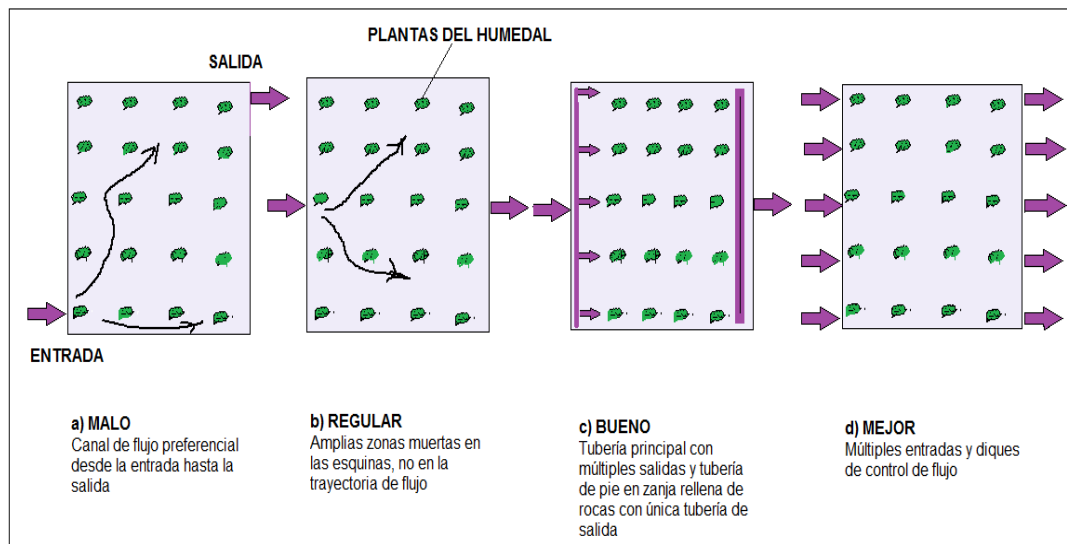


Figura 5.1. Recorrido del caudal  
Fuente: Adaptado de (ONU/HÁBITAT, 2008).

### Entradas

Las estructuras de entrada en los (HASS) incluyen colectores superficiales y subsuperficiales tales como una tubería perforada. En los humedales (FV) es fundamental lograr una distribución uniforme por toda el área del lecho, además las estructuras se conforman de un tanque de alimentación intermitente con una red de distribución

### Salidas

Las estructuras de salida auxilian a mantener uniforme el caudal a través del humedal, así como a controlar la profundidad operativa. El diseño de (HASS) debe permitir una inundación controlada a 15 cm para promover un crecimiento deseable de plantas, controlar la maleza y mantener un gradiente hidráulico adecuado en el lecho. En los



sistemas (FV), el sistema de recolección puede consistir en una red de tuberías de drenaje rodeada por rocas de gran tamaño. La tubería de drenaje llevará a un sumidero de recolección que facilitará el drenaje total del lecho vertical.

### Vegetación

González (2011), refiere una serie de criterios que la vegetación a ser plantada en los (HA) debe cumplir:

- ✓ Utilización de especies locales predominantes.
- ✓ Penetración profunda de las raíces.
- ✓ Rizomas fuertes y raíces fibrosas en gran cantidad.
- ✓ Considerable biomasa o densidad de tallo para lograr la máxima transferencia de agua.
- ✓ Asimilación de nutrientes.
- ✓ Área superficial máxima para poblaciones microbianas.
- ✓ Transporte eficiente de oxígeno hacia la zona de raíces para facilitar la oxidación de metales tóxicos reducidos.
- ✓ Soporte de una amplia rizosfera.

#### 3.2.5 Tratamiento terciario

Las lagunas de maduración como tratamiento terciario permiten depurar las aguas residuales tratadas, así como de desinfectarlas. Una laguna de este tipo se emplea cuando se tiene un agua que previamente ha recibido un tratamiento para reducir la DBO y se proyecta aumentar la calidad del agua.

En la laguna de maduración se forma una capa aerobia, en la cual se desarrolla una biomasa de algas y microorganismos fotosintéticos que proporcionan el oxígeno necesario para la degradación aerobia del sustrato residual. Con adecuado dimensionamiento se puede conseguir remociones de coliformes fecales mayores del 99.9%.



El área máxima de su nivel medio no debe sobrepasar a 2 Ha. Muy a pesar que estas lagunas de maduración alcanzan una pequeñísima remoción de DBO, sin embargo, contribuyen de manera eficiente en la limpieza del nitrógeno en un 80% (Martelo y Lara, 2012) y el 95% corresponde a la remoción del amonio. Mientras que el fósforo total es baja habitualmente al 50%. En este sentido, en las lagunas de maduración, al soportar cargas orgánicas pequeñas y obtener las condiciones idóneas para la penetración de radiación solar se hace posible el desarrollo de fitoplancton y como consecuencia se establece una dinámica ambiental que sustenta la biota acuática.

### **5.3 Concepto de diseño**

#### **5.3.1 Formalización del diseño**

Para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial híbrido, se consideraron los resultados obtenidos en el estudio ambiental, el estatus hídrico del sistema tomando como base los parámetros físicos, químicos y biológicos del cuerpo de agua en comparación con la legislación ambiental vigente y las normas oficiales ecológicas que les respaldan (NOM-003-SEMARNAT-1997, NOM-127-SSA-1994, NOM-001-SEMARNAT-1997, NOM-001-ECOL-1996), como límites máximos permisibles de acuerdo al uso: contacto directo, riego agrícola, protección de la vida acuática y para consumo humano, esta última no fue el propósito de este estudio.

Al comparar los resultados con la normatividad vigente, las muestras cuantificadas exponen condiciones de contaminación por el arrojado de aguas residuales, entre los valores que rebasan la norma destacan DBO, DQO, SST, por arriba del límite permitido (ver tabla 37 en la sección de resultados), grasas y aceites que, aunque en el límite se considera dar tratamiento, el fósforo total y el nitrógeno a pesar que rebasan la norma son aceptables para la protección de vida acuática.

En este contexto los metales pesados analizados como el arsénico, cadmio, plomo, zinc, mercurio, cobre, cromo y níquel, no rebasan los límites máximos permisibles para el uso





en riego agrícola y protección de la vida acuática. De esta manera se identificó los factores bióticos y abióticos de los procesos de contaminación del agua. Asimismo, para inducir a la bio restauración del sistema hídrico se trabajó en el análisis de los procesos biotecnológicos que serán susceptibles de adaptarse a las características del ecosistema y de acuerdo a los niveles de contaminación identificados.

Se considera para este caso de estudio la estructura de la propuesta de bio restauración del lago de San Miguel Xico en Valle de Chalco, que coadyuve en las estrategias del plan de desarrollo urbano del municipio, con una prospectiva de funcionalidad en el reúso de agua residual y una vez tratada para riego agrícola, riego de áreas verdes y vida acuática, a través de la línea de proceso que consiste en pre-tratamiento, un tratamiento primario, secundario, posterior a este se contempla viable el seguimiento para contener el agua tratada en una laguna de maduración que contribuya al desarrollo sustentable de la población de estudio.

### **5.3.2 Dimensionamiento del sistema de tratamiento de agua residual**

Los análisis físico-químico y biológico de las aguas residuales del sector de influencia a la laguna “b” indican elevada contaminación orgánica. Debido a la naturaleza, procedencia y posterior uso del agua residual, el objetivo del diseño es disminuir la carga orgánica, cantidad de sólidos en suspensión y presencia de coliformes; parámetros que determinan la turbidez y olor característico del agua residual.

Tomando en cuenta las consideraciones técnicas, económicas, operativas y de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales se determina una proyección útil de 30 años. Los parámetros y criterios que inciden directamente en el diseño, implementación, funcionamiento y mantenimiento del sistema de tratamiento a través de humedales artificiales, se observan en el diseño de componentes de la línea de tratamiento para el lago de San Miguel Xico (Figura 5.2). Asimismo, se describen los



cálculos y el diseño de cada componente con las dimensiones de acuerdo al área de estudio.

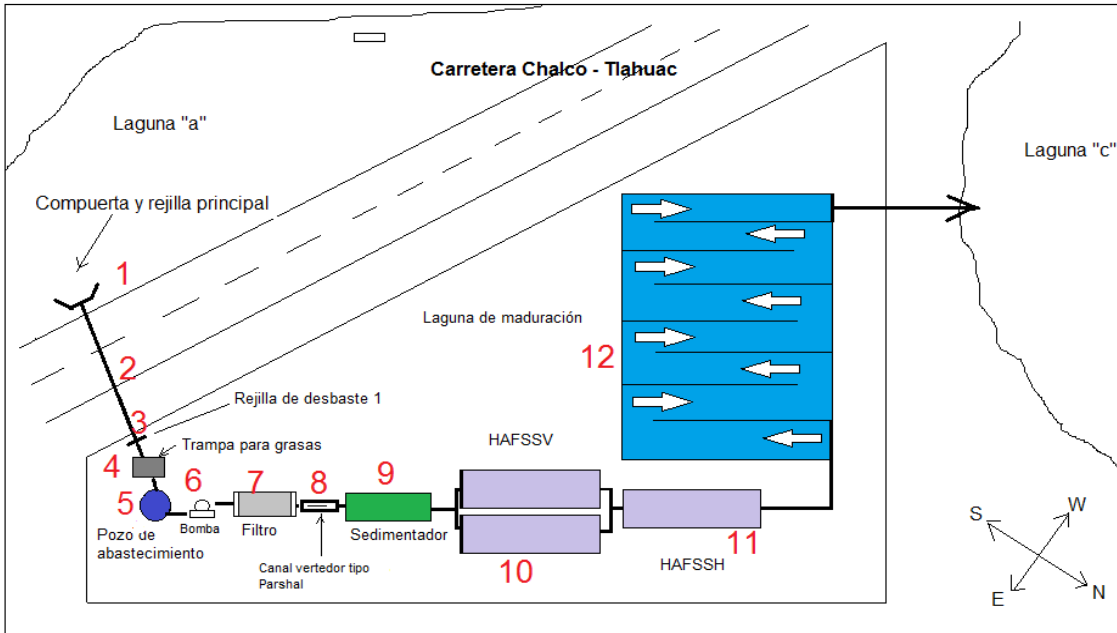


Figura 5.2. Componentes de la línea de tratamiento para San Miguel Xico  
Fuente: Propia (2016).

La figura 5.3 muestra la zona de estudio: cuenta con tres pequeñas retenciones de agua, la mayor (a) que provee de agua a la laguna (b) misma que cuenta con un área aproximada de 47396.924 m<sup>2</sup> y la menor (c) 3491.195 m<sup>2</sup>. En el espacio de la laguna “b”, se seleccionó como área viable para la propuesta que sugiere el diseño de la línea de tratamiento. Las siguientes líneas esbozan el diseño y los ajustes de cada componente con medidas acorde al área sugerida de ejecución:



Figura 5.3. Zona de estudio de San Miguel Xico  
Fuente: Adaptado de Google Earth (2016).



### 5.3.3 Compuerta y rejilla principal

Para este primer punto, es necesario colocar una rejilla principal, cuya función sea detener los sólidos en suspensión de diferentes dimensiones que trae consigo el influente, evitando con ello taponamientos y atasco del conducto (2) y dar protección a los componentes de la línea. Asimismo, considera una compuerta principal que controle el caudal permitiendo un mayor control de entrada de la laguna “a” hacia la laguna “b”. (Figura 5.4).

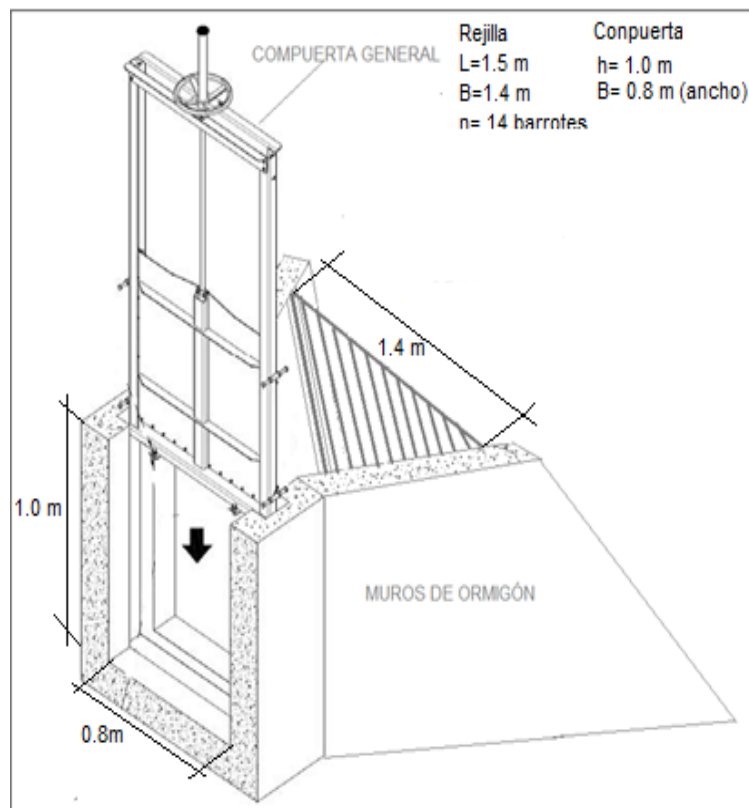


Figura 5.4. Rejilla y compuerta principal  
Fuente: Propia (2016).

Se requiere de un tubo de 30 pulgadas para conducción de agua de laguna “a” hacia la laguna “b”, y como se observó en la imagen 3.3 y 3.4, existe una carretera que divide a las lagunas y el flujo del agua es subterráneo.



### 5.3.4 Diseño de rejilla de desbaste manual

Mecanismos constituidos con barras metálicas paralelas y con espacios equivalentes que retienen los objetos de dimensiones grandes, que pueden dañar o entorpecer en las bombas, válvulas y en sí en el equipo establecido. Las rejas de limpieza manual tienen aberturas de 20 a 45 mm, tomando en cuenta que las velocidades máximas de llegada en el canal van de 0.6 a 1.2 m/s (Metcalf y Eddy, 1995).

Los cálculos necesarios de acuerdo a Lozano-Rivas (2012) son: El área útil de la rejilla, la pérdida de carga, longitud de la rejilla y el número de barrotes. Por lo tanto, se adopta un ancho de canal de 1.20 m. debido a que los barrotes restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, se hace necesario incrementar el ancho del canal en esta zona.

#### Área útil de la rejilla

Los valores para calcular el área útil de la rejilla se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la siguiente tabla 6:

**TABLA 6. DATOS DEL ÁREA ÚTIL DE LA REJILLA DE DESBASTE.**

$B_c$	Ancho del canal	(m)	1.20	$A_R = B_c \left( \frac{L}{L+b} \right) \left( 1 - \frac{G}{100} \right)$
$L$	Espacio entre barrotes	(m)	0.040	
$b$	Diámetro de barrotes	(m)	0.012	
$G$	Grado de colmatación	(%)	30	$A_R = 1.2 \left( \frac{0.04}{0.04+0.012b} \right) \left( 1 - \frac{30}{100} \right) = 0.67$
$A_R$	Área útil en la rejilla	( $m^2$ )	0.67	

Fuente: Propia (2016)

#### Pérdida de carga en la rejilla (diferencia de alturas antes y después de los barrotes)

Los valores para calcular la pérdida de carga en la rejilla, y la ecuación correspondiente, se expresa en la tabla 7:

**TABLA 7. DATOS DE LA PÉRDIDA DE CARGA DE LA REJILLA DE DESBASTE**

$B_c$	Ancho del canal	(m)	1.20	$\Delta H = \beta \left( \frac{b}{L} \right) \left( \frac{V_p^2}{2g} \right) \text{sen} \theta$
$L$	Espacio entre barrotes	(m)	0.040	
$b$	Diámetro de barrotes	(m)	0.012	
$\beta$	Factor dependiente de las barras circulares	(-)	1.79	



$V_P$	Velocidad de paso a caudal Máximo en la rejilla (m/s)	0.8	$\Delta H = 1.79 \left( \frac{0.012}{0.04} \right) \left( \frac{0.8^2}{2 \cdot 9.8} \right) \text{sen} 45$
$g$	Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )	9.8	
$\theta$	Ángulo de inclinación adoptado ( $^\circ$ )	45	$\Delta H = 0.012$
$\Delta_H$	Pérdida de carga (m)	0.012	

Fuente: Propia (2016).

### Longitud de la rejilla

En la tabla (8) se presentan la ecuación y valores para calcular la longitud de la rejilla:

**TABLA 8. DATOS DE LONGITUD DE LA REJILLA DE DESBASTE**

$H$	Altura de la rejilla (m)	0.5	$LR = \left( \frac{H}{\text{sen} \theta} \right)$
$\theta$	Ángulo de inclinación adoptado ( $^\circ$ )	45	
$L_R$	Longitud de la rejilla (m)	0.71	$LR = \left( \frac{H}{\text{sen} \theta} \right) = \left( \frac{0.5}{\text{sen} 45} \right) = 0.71$

Fuente: Propia

### Número de barrotes

De igual forma en la siguiente tabla (9) se presentan la ecuación para calcular el número de barrotes y los valores correspondientes:

**TABLA 9. DATOS DEL NÚMERO DE BARROTES DE LA REJILLA DE DESBASTE.**

$B_c$	Ancho del canal en la zona de la rejilla (m)	1.20	$N = \frac{B_r - L}{b + L} = \frac{1.20 - 0.040}{0.012 + 0.040} = 22.3$
$L$	Espacio entre barrotes (m)	0.040	
$b$	Diámetro de barrotes (m)	0.012	
$N$	Número de barrotes	22	

Fuente: Propia (2016)

La rejilla de desbaste manual deberá tener un área útil de  $0.65\text{m}^2$ , por donde circulará el caudal de agua a tratar; se considera una pérdida de carga de 0.012 m, lo cual es muy inferior al límite máximo establecido por Lozano-Rivas (2012).

Las medidas de la rejilla se considera un ancho de 1.2 m, una longitud de 0.71 m y estará conformada por 22 barrotes circulares con un diámetro de 1.2 cm cada uno, con un espacio entre sí de 4 cm y con ángulo de inclinación de 45 grados respecto a la horizontal. El sistema de rejillas se ubicará en la entrada del tanque separador de agua-



aceite. Además, la rejilla permitirá una velocidad de paso de 0.8 m/s, velocidad adecuada que no promoverá la sedimentación en el canal y no generará arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes, (Figura 5.5).

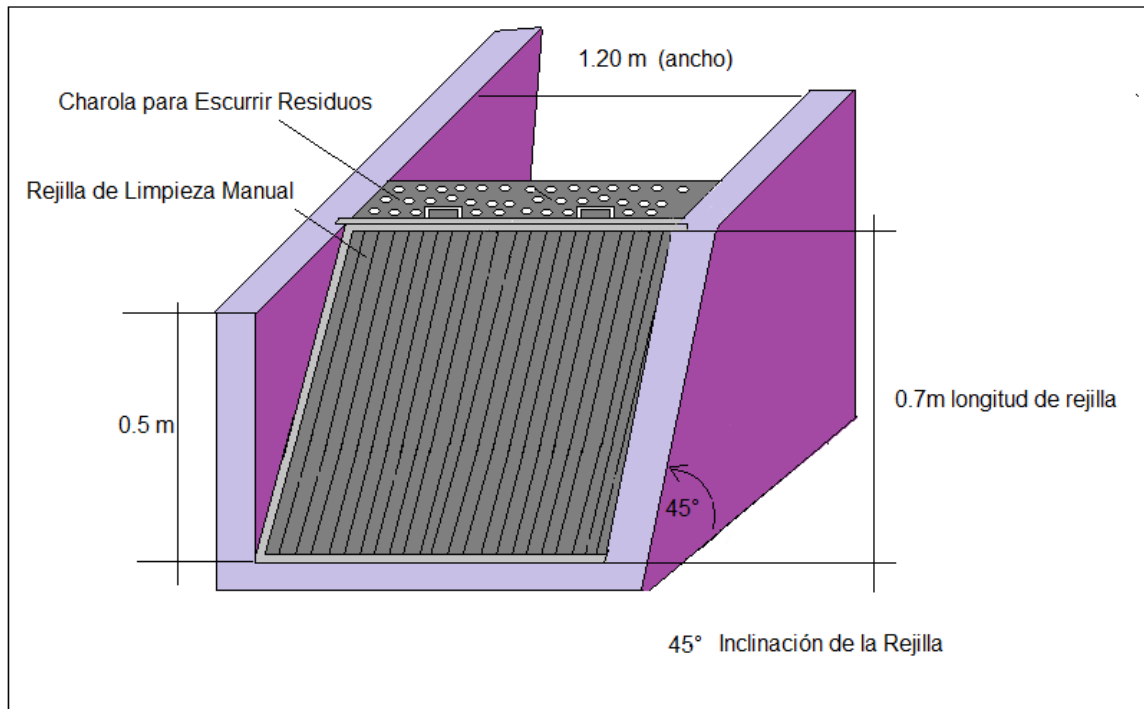


Figura 5.5. Rejilla de desbaste manual.  
Fuente: Propia (2016).

### 5.3.5 Diseño y cálculo de trampa para grasas

La trampa de grasa como función principal consiste en retener todas aquellas sustancias que poseen un peso específico menor que el agua, dando lugar a flotar (OPS/CEPIS, 2003). La diferencia entre grasas y aceites radica en que las primeras son sólidas a temperatura ambiente, mientras que los aceites son líquidos y sólo se solidifican a temperaturas más bajas (Ailed, 2010). Asimismo, se puede determinar una propiedad destacable de las grasas y aceites refiere a la densidad ya que generalmente se encuentran en el rango comprendido entre 0,92 a 0,96 g/l, es decir, que es más ligera que el agua por lo tanto tiende a ubicarse en una fase superior a esta. Con base a los



criterios de diseño, para la trampa de grasa se estiman las siguientes dimensiones efectivas:

### Volumen útil

Es el volumen total de la cámara de recepción del agua cruda conjuntamente con el separador de agua-aceites, de igual manera dentro de esta unidad se considera el sistema de rejillas de desbaste manual. Las dimensiones de la cámara se obtienen de las ecuaciones y datos que se proporcionan en la tabla (10).

**TABLA 10. DATOS DE LAS DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE RECEPCIÓN**

L	Longitud	(m)	1.41	$L = \frac{3}{2} B$ (Condición a cumplir)
B	Ancho	(m)	0.95	
H	Altura	(m)	1.50	$VU=L*B*H$ $1.41m*0.95 m*1.5m = 2 m^3$
$\theta$	Angulo	(°)	45	
Vu	Volumen útil	( $m^3$ )	2.00	

Fuente: Propia (2016).

### Tiempo de retención hidráulico

El valor del tiempo de retención hidráulico se obtiene con la ecuación y datos (tabla 11).

**TABLA 11. DATOS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO**

<b>Vu</b>	Volumen útil	( $m^3$ )	2.00	$TRH = \frac{Vu}{Q_{med}}$
<b>Q<sub>md</sub></b>	Caudal medio	( $\frac{m^3}{h}$ )	172.8	
<b>TRH</b>	Tiempo de retención hidráulico	(h)	0.27	$TRH = \frac{2}{7.20} = 0.27$

Fuente: Propia (2016).

La trampa para grasas (Figura 5.6) se considera como unidad regulatoria del caudal y posee un tiempo de retención de 16.2 minutos para este caso en particular. Las dimensiones efectivas de la trampa para grasas son: longitud de 1.41m, ancho de 0.95 m y altura de 1.50 m; tomando en cuenta el espacio de seguridad entre el nivel superior del líquido y la parte inferior de la tapa sanitaria es 0.50 m. El vertedor de rebose de grasas y control de caudal se encuentra a 0.05 m por encima del nivel superior de agua. Las paredes inferiores con forma cónica se establecen con un ángulo de inclinación igual a 45° respecto a la horizontal.



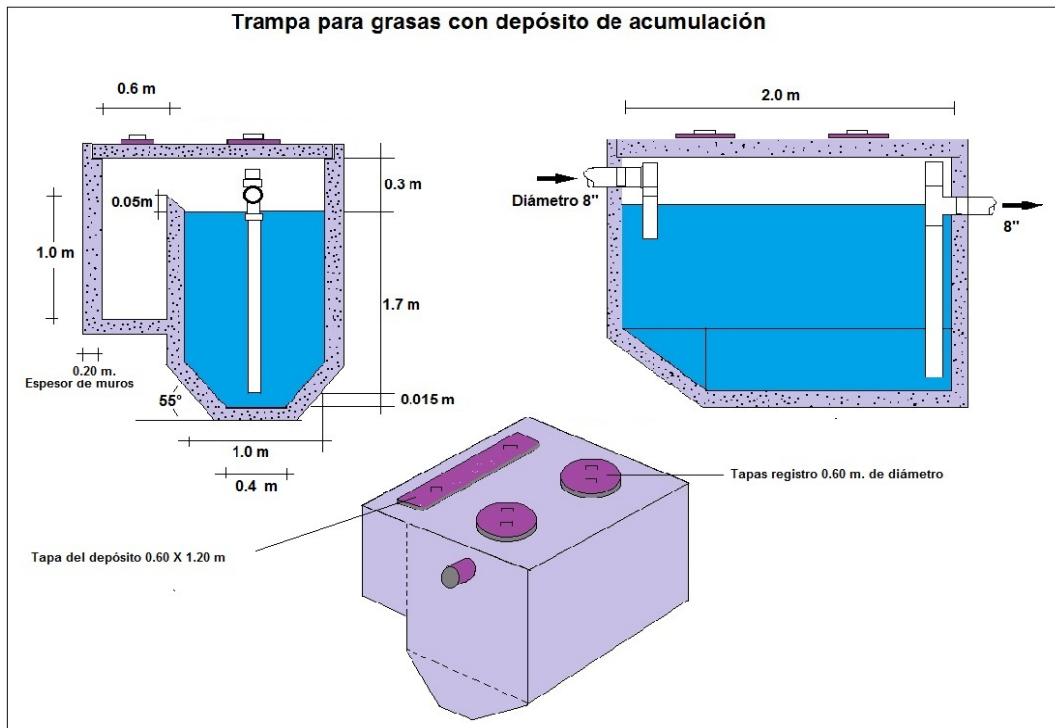


Figura 5.6. Trampa para grasas y aceites.  
Fuente: Propia (2016).

### 3.3.6 Pozo de abastecimiento

Este pozo o cárcamo tiene la finalidad de garantizar el caudal necesario para la alimentación del sistema de tratamiento.

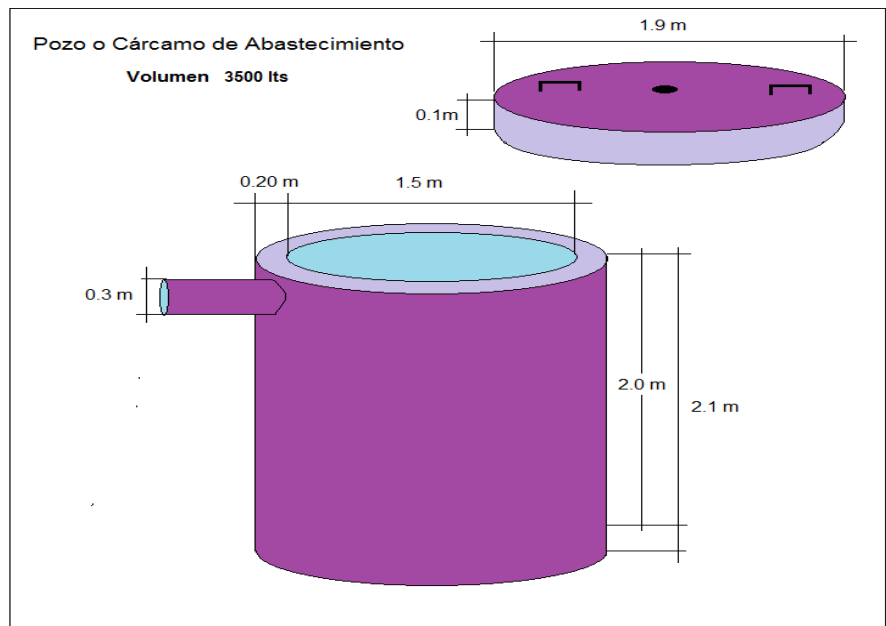


Figura 5.7. Pozo o cárcamo de abastecimiento.  
Fuente: Propia (2016).





### 5.3.7 Bomba centrífuga sumergible

Este componente tiene la función de enviar el agua hacia el canal rectangular del filtro, dicho canal cuenta con las dimensiones siguientes 40 cm de base interna y 50 cm de altura (Figura 5.8).

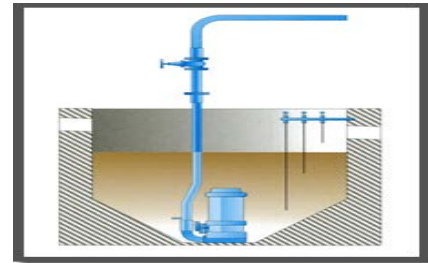


Figura 5.8. Bomba centrífuga.  
Fuente: cpbombas.com

### 5.3.8 Diseño de filtro con materiales pétreos

Este componente recibe el caudal de agua proveniente del canal rectangular que es alimentado por la bomba citada anteriormente, el filtro tiene la finalidad de remover compuestos clorados que puedan dañar tanto a los microorganismos depuradores y a las plantas presentes en los humedales artificiales (Figura 5.9).

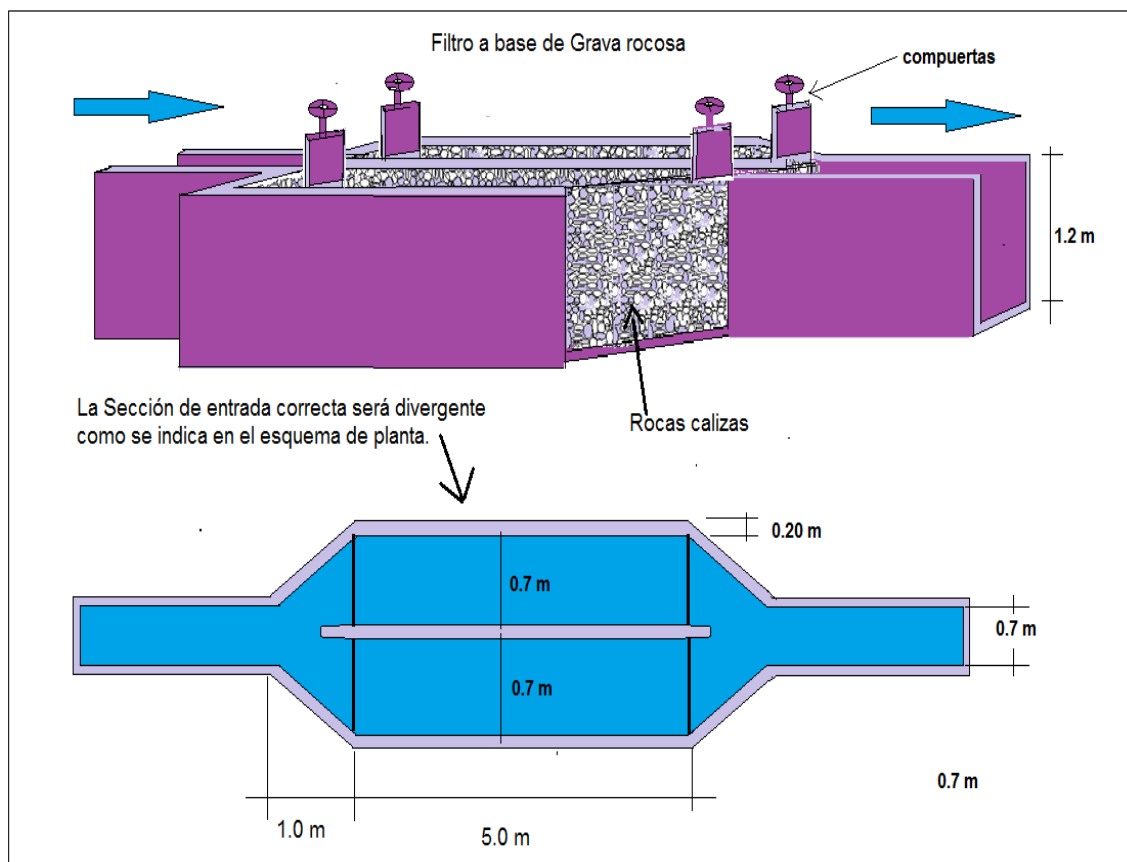


Figura 5.9. Filtro con materiales pétreos  
Fuente: Propia (2016).



### 5.3.9 Canal vertedor tipo Parshal

La turbiedad y el color del agua son especialmente producidos por partículas muy pequeñas, conocidas como partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo extendido y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado, a pesar de que su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de acercamiento entre unas a otras. Es entonces que el uso de la canaleta *Parshal* (Figura 5.10) es importante en el tratamiento de las partículas y cumple con doble propósito en las plantas de tratamiento de agua, por un lado, sirve como un contador de caudal y en la turbulencia que se genera a la salida de la misma, se utiliza como punto de aplicación de coagulantes, en este sentido la coagulación tiende a desestabilizar las partículas en suspensión facilitando su aglomeración, (Mihelcit, 2012).

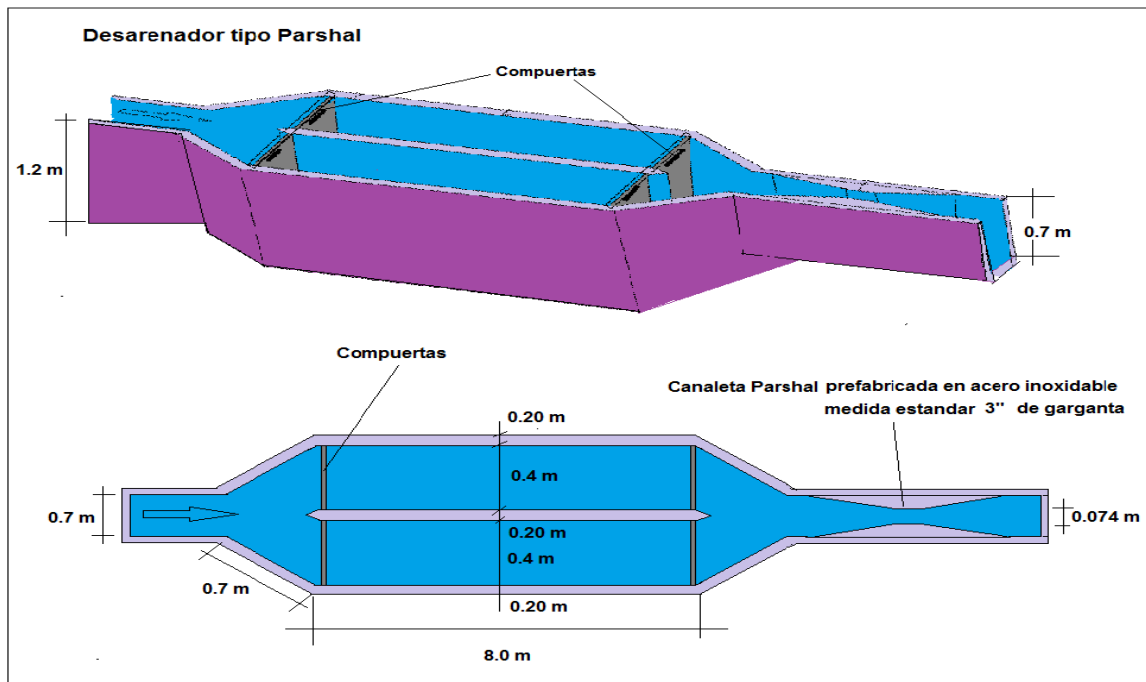


Figura 5.10. Vertedor o desarenador tipo Paarshal  
Fuente: Propia (2016).

Asimismo, la floculación es el proceso que sigue a la coagulación, se basa en la agitación de la masa coagulada que posibilita el crecimiento y aglomeración de los flóculos (conocidos estos como un grumo o aglutinado de materia orgánica formado por



agregación de sólidos en suspensión) recién formados cuyo propósito es aumentar el tamaño y peso necesario para que la sedimentación sea con mayor facilidad. Por otro lado, el vertedor Parshal también cumple la función de desarenador, cuenta con dos canales paralelos con la finalidad de dar mantenimiento y retirar los sedimentos de manera alternada, para su limpieza o bien para que el proceso continúe en un solo canal.

### 5.3.10 Diseño de sedimentador

El diseño de esta estructura persigue la reducción de los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente. La mayoría de los influentes tienen un elevado contenido de materia en estado de suspensión (partículas inferiores a 0.2 mm y superiores a 0.05 mm), siendo necesaria su remoción previa. Los sólidos suspendidos eliminados son en su mayoría materia orgánica, por lo cual se presenta una reducción importante en la concentración de la DBO.

Una de las consecuencias en este tratamiento primario es la obtención de lodos, en este caso se puede someter como señala Kuklinski (2011) a procesos de digestión anaerobio y posteriormente secado para ser utilizado como fertilizante, este proceso se puede realizar mediante un sedimentador y un biodigestor de lodos.

### Sedimentador primario

Es necesario un proceso de sedimentación la OPS Y CEPIS (2005) señalan que las partículas en el interior del agua, no son favorables en el tratamiento, por qué altos niveles de turbiedad inhiben los procesos biológicos, produciendo pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua del efluente. Implica la sedimentación de sólidos suspendidos y la eliminación de materia orgánica y metales.

En este procedimiento se generan gran cantidad de lodos, mismos que pueden tratarse a través de un sedimentador primario que se compone de: zona de entrada, zona de



sedimentación, zona de salida y zona de recolección de lodos. La Zona de entrada y/o estructura hidráulica de transición, permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador. La zona de sedimentación es el canal rectangular con volumen y condiciones de flujo adecuados para sedimentación de partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es igual en todos los puntos.

La zona de salida está constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas y la zona de recolección de lodos compuesta por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, una tubería y válvula para su evacuación periódica. El propósito principal del sedimentador es separar del agua el material particulado inferior a 0.2 mm y mayores a 0.05 mm, (Spellman, 2003). Los parámetros y criterios de diseño se establecen y deducen a continuación:

#### Velocidad de sedimentación (ley de Stokes)

Los valores para calcular la velocidad de sedimentación y la ecuación respectiva se muestran en la tabla (12).

**TABLA 12. DATOS DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN**

<b>D</b>	Diámetro de la partícula	(cm)	0.02	$V_s = \frac{g}{18} \left( \frac{\rho_p - \rho_f}{\eta} \right) d^2$ $V_s = \frac{980}{18} \left( \frac{2.65 - 1.0}{0.01} \right) (0.02)^2$ $V_s = 3.59$
<b>G</b>	Aceleración de la gravedad	(cm/s <sup>2</sup> )	980	
<b>ρ<sub>f</sub></b>	Densidad del fluido	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.0	
<b>ρ<sub>p</sub></b>	Densidad relativa de la partícula	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.65	
<b>η</b>	Viscosidad del fluido	(cm <sup>2</sup> /s)	0.01	
<b>V<sub>s</sub></b>	Velocidad de sedimentación	(cm/s)	3.59	

Fuente: Propia (2016).

#### Número de Reynolds



La ecuación y los valores para calcular el número de Reynolds se muestran en la tabla (13):

**TABLA 13. DATOS DEL NÚMERO DE REYNOLDS**

<b>D</b>	Diámetro de la partícula	(cm)	0.02	$R_e = \frac{V_s d}{\eta} = \frac{(3.59)(0.02)}{0.01}$ $R_e = 7.18$
<b><math>\rho_f</math></b>	Densidad del fluido	( $gr/cm^3$ )	1.0	
<b><math>\eta</math></b>	Viscosidad del fluido	( $cm^2/s$ )	0.01	
<b>Vs</b>	Velocidad de sedimentación	(cm/s)	3.59	
<b>Re</b>	Número de Reynolds	(---)	7.18	

**Coeficiente de arrastre CD (ley de Allen)**

La ecuación y los valores para calcular el coeficiente de arrastre se muestran en la tabla (14):

**TABLA 14. DATOS DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE**

<b>Re</b>	Número de Reynolds	(---)	7.18	$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$ $C_D = \frac{24}{7.18} + \frac{3}{\sqrt{7.18}} + 0.34$ $C_D = 4.80$
<b><math>C_D</math></b>	Coeficiente de arrastre (zona de transición)	(---)	4.80	

Fuente: Propia (2016).

**Velocidad real de sedimentación a través de la Ley de Newton**

La ecuación y los valores para calcular la Velocidad real de sedimentación se muestran en la tabla (15):

**TABLA 15. DATOS DE LA VELOCIDAD REAL DE SEDIMENTACIÓN**

<b>d</b>	Diámetro de la partícula	(cm)	0.02	$V_{SR} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g}{C_D \varphi} (\rho_p - \rho_f) d}$
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad	( $cm/s^2$ )	980	
<b><math>\rho_f</math></b>	Densidad del fluido	( $gr/cm^3$ )	1.0	
<b><math>\rho_p</math></b>	Densidad relativa de la partícula	( $gr/cm^3$ )	2.65	$V_{SR} = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{(980)}{(4.80)(20)} (2.65 - 1)(0.02)}$
<b><math>C_D</math></b>	Coeficiente de arrastre (zona de transición)	(---)	4.80	
<b><math>\varphi</math></b>	Coeficiente flocular	(---)	20	$V_{SR} = 0.67 \text{ cm/s}$
<b><math>V_{SR}</math></b>	Velocidad de sedimentación real	(cm/s)	0.67	

Fuente: Propia (2016).



### Área superficial del sedimentador

La ecuación y los valores para calcular el área superficial del sedimentador se muestran en la tabla (16):

**TABLA 16. DATOS DEL ÁREA SUPERFICIAL DEL SEDIMENTADOR**

<b>Q</b>	Caudal medio diario	$(m^3/día)$	172.8	$A_s = \frac{Q}{C_s} = \frac{172.8}{6.0} = 28.8 m^2$
<b>Cs</b>	Carga superficial	$(m^3/m^2/día)$	6.0	
	(según criterios de diseño de OPS/CEPIS (2005))			
<b>As</b>	Área superficial	$(m^2)$	28.8	

Fuente: Propia (2016).

### Dimensiones del sedimentador

La ecuación y los valores para calcular las dimensiones del sedimentador se muestran en la tabla (17):

**TABLA 17. DATOS DE LAS DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR**

<b>As</b>	Área superficial del sedimentador	$(m^2)$	28.8	$A_s = L * B$ $28.8 = 4B * B \gg$ $B = \sqrt{\frac{28.8}{4}} = 2.68 m$  $L = 4B = 4(2.68) = 10.7 m$
<b>B</b>	Ancho del sedimentador	$(3 < \frac{L}{B} < 6)$ (m)	2.68	
<b>L</b>	Longitud del sedimentador	$L = 4B$ (m)	10.7	
<b>H</b>	Altura	$(5 < \frac{L}{H} < 20)$ (m)	1.5	

Fuente: Propia (2016).

### Velocidad horizontal

La ecuación y los valores para calcular la velocidad horizontal se muestra en la tabla (18):

**TABLA 18. DATOS DE LA VELOCIDAD HORIZONTAL.**

<b>Q</b>	Caudal medio	$(\frac{m^3}{s})$	0.002	$V_H = \frac{100 * Q}{B * H} = \frac{100 * 0.002}{2.68 * 1.5}$
<b>B</b>	Ancho	$(3 < \frac{L}{B} < 6)$ (m)	2.68	
<b>H</b>	Altura	(m)	1.5	$V_H = 0.05 m/s = 5 cm/s$
<b>V<sub>H</sub></b>	Velocidad horizontal	(m/s)	0.05	



Fuente: Propia (2016).

### Velocidad de arrastre

La ecuación y los valores para calcular la velocidad de arrastre se muestran en la tabla (19):

**TABLA 19. DATOS DE LA VELOCIDAD DE ARRASTRE.**

<b>d</b>	Diámetro de las partículas	(cm)	0.020	$V_d = \sqrt{\frac{8 k * g (\rho_s - 1) d}{f}}$
<b>f</b>	Factor de fricción de Darcy	(---	0.025	
<b>k</b>	Factor forma (uni-granulares No adheribles)	(---	0.050	
<b>g</b>	Aceleración de la gravedad	(cm/s <sup>2</sup> )	980	$V_d = \sqrt{\frac{8(0.05)(980)(2.65 - 1)0.02}{0.025}}$
<b>ρs</b>	Densidad relativa de la Partícula	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.65	
<b>ρf</b>	Densidad del fluido fluido	(gr/cm <sup>3</sup> )	1	
<b>V<sub>d</sub></b>	Velocidad de arrastre	(m/s)	0.23	V <sub>d</sub> = 0.23 m/s = 23 cm/s

Fuente: Propia (2016).

### Relación de velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura

La ecuación y los valores para verificar la relación de velocidad y dimensiones se muestran en la tabla (20):

**TABLA 20. VALORES PARA VERIFICAR LA RELACIÓN DE VELOCIDAD Y DIMENSIONES**

<b>V<sub>H</sub></b>	Velocidad horizontal	(cm/s)	5.0	$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_{RS}} \gg \frac{10.73}{1.5} = \frac{5.0}{0.67}$ <p>7.2 ≈ 7.4 (se cumple la relación)</p>
<b>V<sub>RS</sub></b>	Velocidad real de sedimentación	(cm/s)	0.67	
<b>L</b>	Longitud L = 4B	(m)	10.72	
<b>H</b>	Altura	(m)	1.5	

Fuente: Propia (2016).

### Tiempo de retención hidráulico

La ecuación y los valores para calcular el tiempo de retención hidráulico se muestran en la tabla (21):

**TABLA 21. VALORES PARA CALCULAR EL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO.**

<b>Q</b>	Caudal medio diario	(m <sup>3</sup> /día)	172.8	$TRH = \frac{Vu}{Q}$
<b>Vu</b>	Volumen útil	(m <sup>3</sup> )	43	
<b>TRH</b>	Tiempo de retención hidráulico	(días)	0.24	$TRH = \frac{43}{172.8} = 0.24 \text{ días}$

Fuente: Propia (2016).



### Eficiencia del sedimentador en la remoción de la DBO

La ecuación y los valores para calcular la eficiencia del sedimentador en la remoción del DBO se muestran en la tabla (22):

**TABLA 22. VALORES PARA CALCULAR LA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR EN LA REMOCIÓN DE LA DBO**

TRH	Tiempo de retención hidráulico (hrs.)	5.76	$R_{DBO} = \frac{TRH}{a+b*TRH}$	
a	Constante empírica	(--)		0.018
b	Constante empírica	(--)		0.020
<b>R<sub>DBO</sub></b>	Remoción de DBO	(%)	43.24	$R_{DBO} = \frac{5.76}{0.018+(0.020 * 5.76)}$
				<b>R<sub>DBO</sub> = 43.24%</b>

Fuente: Propia (2016).

### Eficiencia del sedimentador en la remoción de SST

Los valores para calcular la eficiencia del sedimentador en la remoción del SST se definen mediante la siguiente igualación, a través de los datos proporcionados en la tabla (23):

**TABLA 23. DATOS DE LA EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR EN LA REMOCIÓN DE SST**

TRH	Tiempo de retención hidráulico (hrs.)	5.76	$R_{SST} = \frac{TRH}{a+b*TRH}$	
a	Constante empírica	(--)		0.0075
b	Constante empírica	(--)		0.014
<b>R<sub>SST</sub></b>	Remoción de SST	%	65.35	$R_{SST} = \frac{5.76}{0.0075+0.014*5.76}$
				<b>R<sub>SST</sub> = 65.35%</b>

Fuente: Propia (2016).

En el diseño del sedimentador se constituye un caudal medio de  $172.8 \text{ m}^3/\text{día}$ , con una carga superficial de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ , ésta se encuentra en los límites permisibles según Spellman (2004). Este sedimentador primario está diseñado para remover partículas suspendidas inferiores a 0.2 mm y superiores a 0.05 mm. Se ha considerado una velocidad real de sedimentación igual a 0.67 cm/s, la velocidad horizontal de 3.1 cm/s y la velocidad de arrastre es 23cm/s.





El tanque sedimentador tendrá un volumen efectivo de  $43 \text{ m}^3$ , considerando que las dimensiones efectivas, tales como la altura igual a 1.5 m, ancho de 2.68 m y una longitud de 10.72 m se encuentran acordes a las relaciones matemáticas y a criterios de diseño (OPS/CEPIS (2005). Para facilitar el movimiento y retiro del sedimento, el suelo del elemento cuenta con una pendiente de 6%.

Asimismo, el tiempo de retención hidráulico es de 5.7 horas, el cual se encuentra dentro de los valores permitidos por los criterios de diseño (Idem). El sedimentador tendrá una eficiencia de remoción de DBO igual a 43.24% y 65.35% de eficiencia en remoción de SST, parámetros que cumplen con las especificaciones establecidas por Baruth (2005).

La figura 5.11 muestra el diseño del sedimentador primario vista de planta y corte longitudinal.

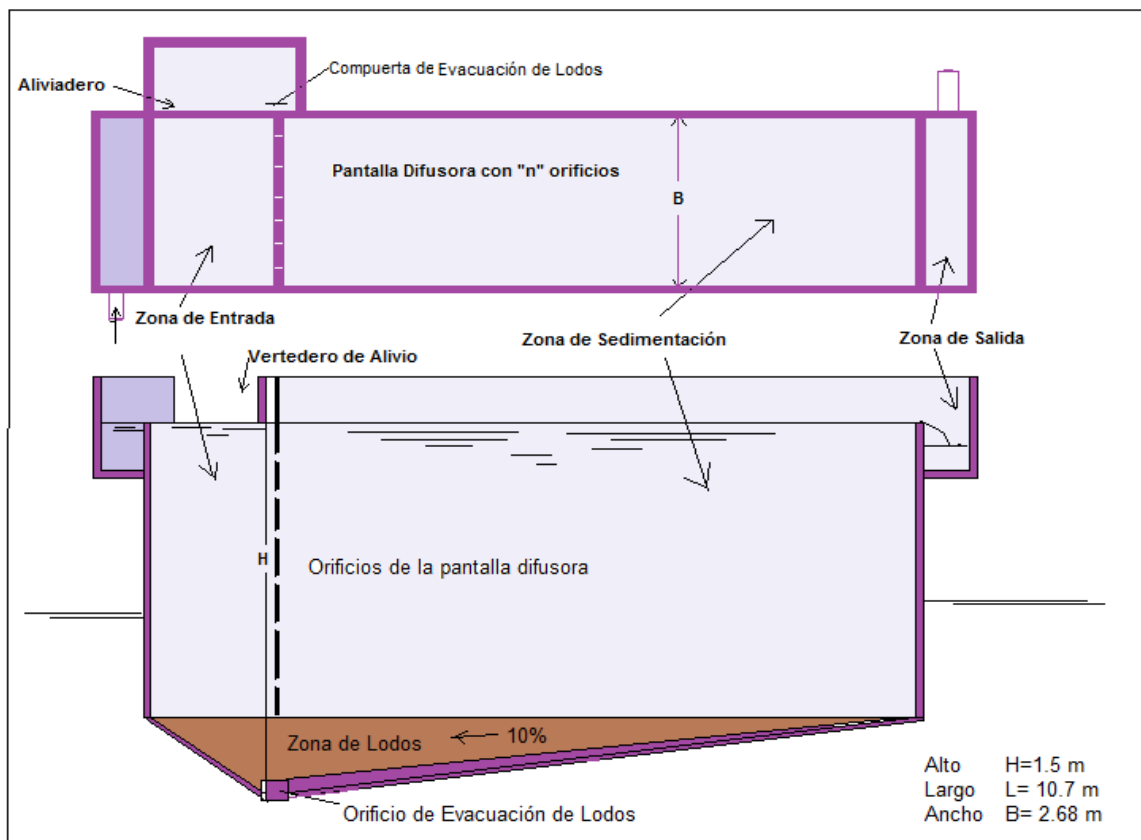


Figura 5.11. Sedimentador primario  
 Fuente: Propia (2016).



### 5.3.11 Pantalla difusora

Los cálculos para el diseño de la pantalla difusora se describen en las siguientes tablas:

#### Área total de orificios en la pantalla difusora

La ecuación y los valores para calcular el área total de los orificios de la pantalla difusora se muestran en la tabla (24):

**TABLA 24. VALORES PARA CALCULAR EL ÁREA TOTAL DE LOS ORIFICIOS DE LA PANTALLA DIFUSORA.**

<b>Q</b>	Caudal medio	( $m^3/s$ )	0.002	$Ao = \frac{Q_{med}}{V_0} = \frac{0.002}{0.10}$
<b><math>V_0</math></b>	Velocidad en los orificios	( $m/s$ )	0.10	
<b>Ao</b>	Área total de orificios	( $m^2$ )	0.02	$Ao = 0.02 m^2$

Fuente: Propia (2016).

#### Número de orificios en la pantalla difusora

La ecuación y los valores para calcular el número de orificios de la pantalla difusora se muestran en la tabla (25):

**TABLA 25. VALORES PARA CALCULAR EL NÚMERO DE ORIFICIOS DE LA PANTALLA DIFUSORA.**

<b>Ao</b>	Área total de orificios	( $m^2$ )	0.02	$n = \frac{Ao}{a_0} = \frac{0.02}{0.00049} = 40.81$
<b><math>a_0</math></b>	Área de cada orificio	( $m^2$ )	0.00049	
<b>n</b>	Número de orificios	(#)	41	$n = 40$ (adoptamos entero)

Fuente: Propia (2016).

#### Altura efectiva de la pantalla difusora

La ecuación y los valores para calcular la altura de la pantalla difusora se muestran en la tabla (26):

**TABLA 26. VALORES PARA CALCULAR LA ALTURA DE LA PANTALLA DIFUSORA**

<b>H</b>	Altura del sedimentador	(m)	1.5	$h = H - \frac{2}{5}H = 1.5 - \frac{2}{5}1.5$
<b>h</b>	Altura de la pantalla difusora	(m)	0.9	
				$h = 1.5 - 0.6 = 0.9m$

Fuente: Propia (2016).



### Ubicación de los orificios en filas

La ecuación y los valores para calcular la distribución de los orificios de manera horizontal se muestran en la tabla (27):

**TABLA 27. VALORES PARA CALCULAR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ORIFICIOS DE MANERA HORIZONTAL.**

h	Altura efectiva de la pantalla difusora (m)	0.9	$a_1 = \frac{h}{n_f} = \frac{0.9}{4} = 0.225 \text{ m}$
n <sub>f</sub>	Número de filas (#)	4	
<b>a<sub>1</sub></b>	Distancia entre filas (m)	0.225	

Fuente: Propia (2016).

### Ubicación de los orificios en columnas

La ecuación y los valores para calcular la distribución de los orificios de forma vertical se muestran en la tabla (28):

**TABLA 28. VALORES PARA CALCULAR LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ORIFICIOS DE FORMA VERTICAL**

<b>a<sub>1</sub></b>	Distancia entre filas (m)	0.225	$a_2 = \frac{B - a_1(nc - 1)}{2}$ $a_2 = \frac{2.68 - 0.225(10 - 1)}{2}$
nc	Número de columnas (#)	10	
B	Ancho del sedimentador (m)	2.68	
<b>a<sub>2</sub></b>	Distancia entre columnas (m)	0.26	$a_2 = 0.26 \text{ m}$

Fuente: Propia (2016).

La pantalla difusora del sedimentador calculada muestra solo 4 filas, con 10 columnas, por lo que sus dimensiones son:

H= 0.9 m (Es la altura Útil de la pantalla, porque debe contar con 30 cm. De margen de seguridad)

B= 2.68 m (ancho de pantalla= ancho de sedimentador porque va en el interior)

n= 40 (Número de orificios) (4filas X 10 columnas) = 40



$D_f = 22.5 \text{ cm}$  (0.225 m) Distancia entre filas

$D_c = 26 \text{ cm}$  (0.26 m) Distancia entre columnas

$\varnothing = 2.5 \text{ cm}$  (0.025) Diámetro de los orificios

La figura 5.12 muestra el diseño de la pantalla difusora del sedimentador vista de planta y corte longitudinal.

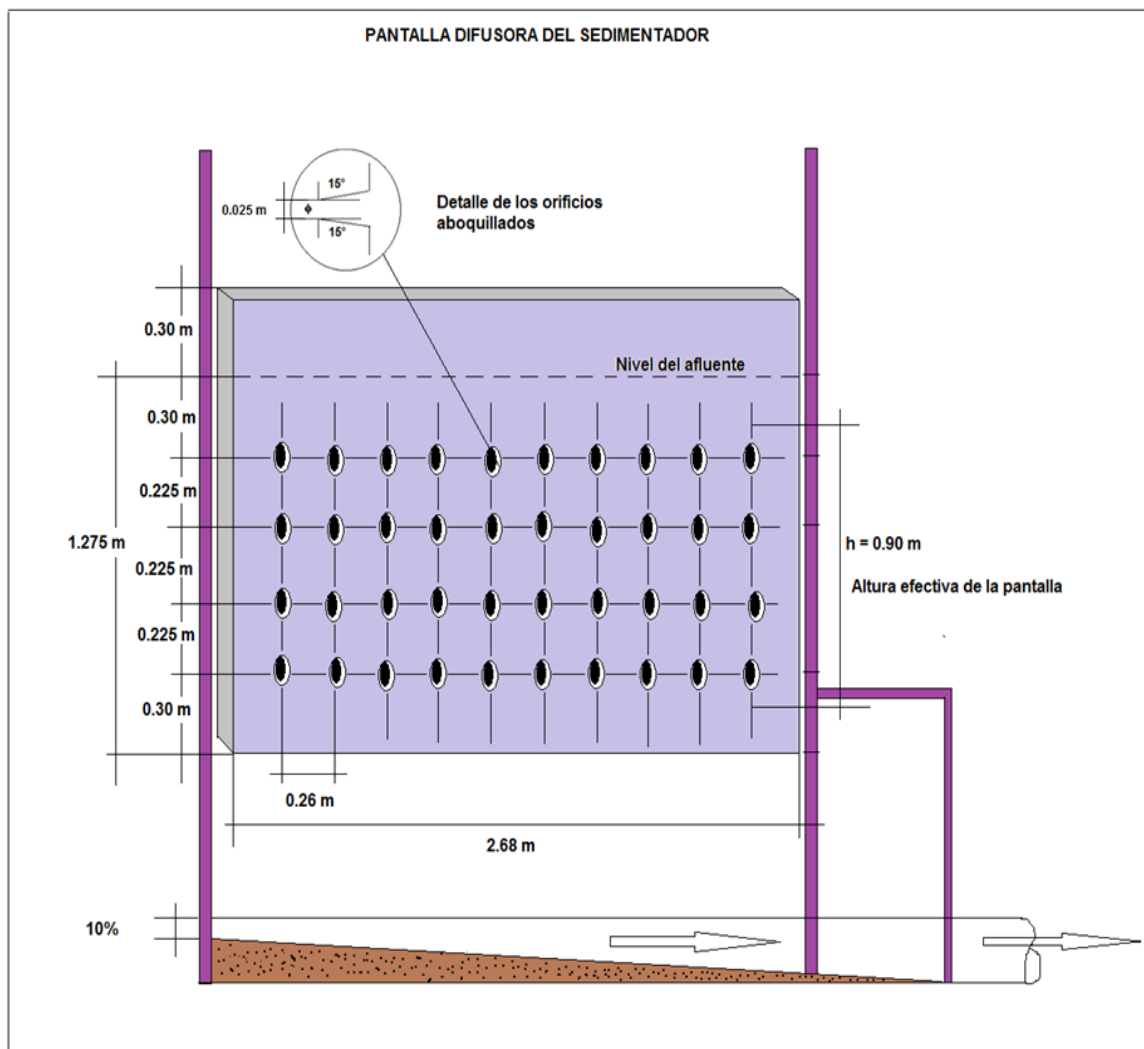


Figura 5.12. Pantalla difusora del sedimentador primario  
Fuente: Propia (2016).



La pantalla difusora contiene 40 orificios de 2.5 cm de diámetro cada uno, mismos que están diseñados y distribuidos de manera que generen un flujo pistón en todo el tanque a una velocidad de 0.10 m/s. La pantalla tendrá una altura efectiva de 90 cm, en relación a la altura del sedimentador la primera fila de orificios iniciará 30 cm por debajo del límite superior y la última fila finalizará 30cm por encima del nivel inferior, la distancia entre filas será de 22,5 cm y entre columnas de 26.8 cm, además los orificios deberán ser aboquillados en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.

La ubicación de la pantalla difusora será de 0.7 m de distancia de la pared de entrada, distancia que se debe sumar a los 10.72 m de longitud efectiva del sedimentador, dando como resultado una longitud total de 11.42m. Como margen de seguridad se cuenta con una longitud de 50 cm desde el nivel superior del agua hasta la cima del sedimentador

### 5.3.12 Diseño de humedal artificial sub superficial híbrido

Conlleva a un proceso natural de estabilización de la materia orgánica de forma aceptable considerando las condiciones al interior del sistema hídrico. En este sentido, un tratamiento secundario eficaz promueve un porcentaje elevado de limpieza de parámetros como la DBO y SST hasta un 85%, (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

La inclusión de procesos biológicos logra eficientes resultados en la remoción entre el 50% y el 95% de la DBO<sub>5</sub>; los sistemas más empleados es el humedal artificial sub superficial de flujo vertical y/o horizontal, siendo un proceso efectivo los sistemas híbridos (ONU-HABITAT, 2008).

Entonces, al diseñar el humedal sub superficial híbrido (vertical y horizontal), se asume la pertinencia de lograr reducir los niveles de estos parámetros, lo que conlleva a establecer que se conocerán los indicadores necesarios para la bio restauración mayor a un 50% de los agentes contaminantes que prevalecen en el sistema lacustre a corto plazo, como se observó en el capítulo de resultados.



En el diseño del humedal artificial se contempla los siguientes cinco componentes principales: cubeta, sustrato o lecho filtrante, vegetación, membrana impermeabilizante y estructuras de entrada y salida del agua. Aprovechando las diferentes características de los humedales, se pueden combinar los HASS-V y HAFSS-H, para formar los sistemas híbridos. La combinación a realizar es: en paralelo dos humedales de flujo vertical y un humedal de flujo horizontal en serie, como se señala en la Figura 5.13.

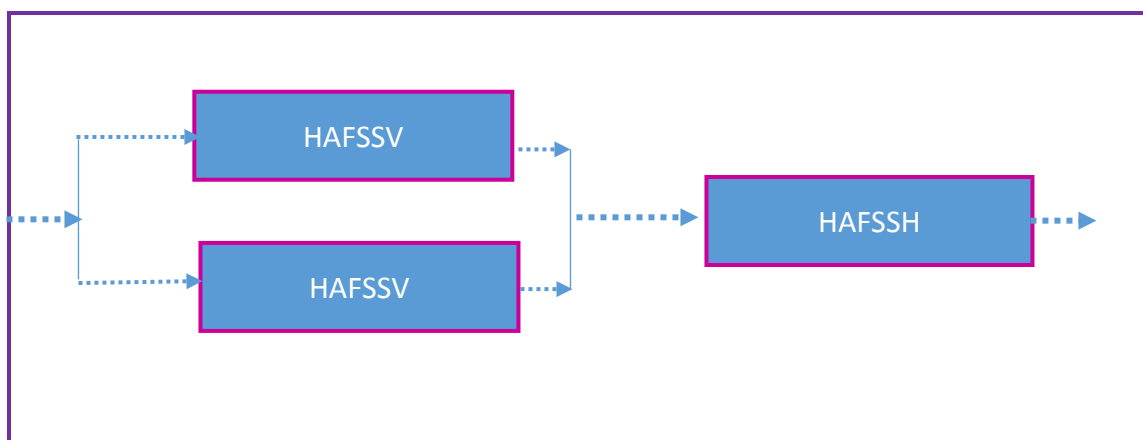


Figura 5.13. Sistema híbrido de humedales artificiales  
Fuente: Propia (2016).

### Profundidad efectiva de la cubeta

Habitualmente, para los sistemas de flujo sub superficial se consideran profundidades efectivas de 50 a 100 cm, se sugiere y a partir de la vegetación a ocuparse, utilizar un sustrato con una profundidad práctica de 80 cm, toda vez que puede facilitar la nitrificación conveniente, además de favorecer la remoción de contaminantes orgánicos.

### Selección del sustrato o lecho filtrante

El lecho filtrante desempeña un papel importante al permitir el enraizamiento de la vegetación, facilitan superficie para el crecimiento de microorganismos depuradores, filtran y atrapan partículas, asimismo, regulan el caudal del afluente y del efluente. Las características del sustrato seleccionado se detallan en la tabla 29.



**TABLA 29. DATOS DE MATERIALES DE SUSTRATO O LECHO FILTRANTE**

Tipo de material	Porosidad n (%)	Tamaño efectivo (mm)	Conductividad hidráulica $K_s$ ( $m^3/m^2/día$ )
Arena lavada	32	2	500
Arena con grava	32	8	500
Grava	36	30-40	10,000

Fuente: Propia (2016).

### 5.3.13 Vegetación

La flora y sus restos son precisos para el rendimiento exitoso de los humedales artificiales, lo que sugiere un aspecto estético. En este sentido, para consumir con los criterios de diseño se requiere vegetación apropiada al contexto de estudio, con la finalidad que favorezca el sistema de humedales a implantarse, dentro de lo más habitual se consideran las siguientes especies de nombre común *papiro*, *carrizo*, *totora*, y *tulillo o junco*. Tabla 30:

**TABLA 30. VEGETACIÓN SUGERIDA EN EL HUMEDAL**

Nombre común	Nombre científico	Profundidad de raíz (cm)	Separación de plantas (cm)
<b>Carrizo</b>	<i>Phragmites australis</i>	40	60
<b>Papiro</b>	<i>Cyperus papyrus</i>		
<b>Junco triangular o totora</b>	<i>Schoenoplectus californicus</i>	60	30
<b>Tulillo o junco</b>	<i>Juncus effusus</i>	30	60

Fuente: Propia (2016).

Las plantas acuáticas son importantes ya que constituyen una pieza esencial de los productores primarios, aportando oxígeno al agua, necesario para la respiración de los animales acuáticos; también se consideran dentro de la acción purificadora del bióxido de carbono en la columna de agua, son eficientes como bombas naturales ya que ponen en circulación las sustancias minerales y orgánicas el medio hídrico, además de ser



estabilizadoras de sedimento, lo que evita por un lado la erosión y por el otro ayuda como sustrato o refugio en la anidación de especies acuáticas o aéreas.

Los servicios ambientales que proveen los vegetales en los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos, es muy importante, toda vez que cumplen con diversas funciones, como fábrica de agua, liberación de oxígeno y captación de CO<sub>2</sub>, hábitats o nicho ecológico de especies, así como de espacios para la anidación, reproducción y cortejo de las mismas. En este sentido, las hidrofitas enraizadas tanto emergentes como sumergidas han sido empleadas en sistemas hídricos para la restauración ambiental, toda vez que en su proceso intervienen en la captura, estabilización y formación de sedimentos, de gran utilidad para este proyecto.

La literatura comparte numerosas investigaciones de vegetales y sus bondades, para este caso de estudio, se encuentran especies que retienen el sedimento o depuran el agua, ejemplo, *Arundo donax*, *Eichhornia crassipes*, *Phragmites australis*, *Typha domingensis* y *T. latifolia*, lo que ha permitido su infestación y mayor distribución. Asimismo, se reconoce la eficacia de *Cyperus papyrus*, *Schoenoplectus Californicus* y *Juncus effusus*. La conservación de vegetales en un sistema de recuperación como lo es la laguna de San Miguel Xico, se reconoce como un importante espacio para el refugio y la anidación de aves migratorias que año con año arriban a las inmediaciones lagunares de una megalópolis como es la ciudad de México y su área conurbada. En este sentido, algunas especies endémicas de la zona lacustre se verían protegidas como el acocil *Cambarellus zempoalensis*, que habita entre la vegetación sumergida de *Egeria densa*, o a especies de aves como el tordo *charretero*, *Agelaius phoeniceus*, que anida entre las hojas de *Typha latifolia* (Bonilla y Santamaría, 2013).

Las imágenes siguientes 5.14 (a, b, c y d) muestra la ficha técnica de los vegetales propios a considerar para el sistema hídrico de San Miguel Xico:





**Nombre común:** Papiro, planta acuática de rápido crecimiento, decora el paisaje de ambientes húmedos, alcanza entre 3 a 4 m de altura. Su valor es ornamental.



(a) *Cyperus papyrus*

**Nombre común:** Carrizo, planta robusta de la familia de las gramíneas, presenta tallos gruesos y duros y puede alcanzar 3 m de altura, posee importancia ecológica en la anidación de especies, uso artesanal, forrajes, construcción y en la obtención de celulosa



(b) *Phragmites australis*

**Nombre común:** Tulillo o junco, es una herbácea de la familia de las juncáceas. Es una planta cosmopolita cuyas medidas van de 30 cm a un metro



(c) *Juncus effusus*



**Nombre común:** Totora, es una planta que crece de forma silvestre o puede cultivarse en zonas húmedas, puede medir hasta 4 m de altura, los usos son alimenticio, artesanal, construcción y medicinal.



(d) *Schoenoplectus californicus*

Figura 5.14 (a, b, c y d). Principales vegetales acuáticos para el humedal en San Miguel Xico.  
Fuente: Adaptado de CONABIO.

### Área superficial del humedal

La ecuación y los valores para calcular el área superficial del humedal se muestran en la tabla (31):

<b>TABLA 31. VALORES PARA CALCULAR EL ÁREA SUPERFICIAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.</b>			
$Q_d$	Caudal medio diario	$(m^3/día)$	172.8
$C_i$	Concentración de $DBO_5$ en el afluente	$(mg/l)$	40
$C_e$	Concentración de $DBO_5$ en el efluente	$(mg/l)$	20
$K_T$	Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura. $K_T = 1,104 * (1,06)^{T-20}$	$(día^{-1})$	1.16
$h$	Profundidad del lecho	$(m)$	0.80
$n$	Porosidad del sustrato (Arena con grava)	$(\%)$	32
T	Temperatura del agua	$(°C)$	21.9
$As$	Área superficial del humedal	$(m^2)$	<b>403.33</b>

Fuente: Propia (2016).

### Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención hidráulico se obtiene con la expresión y los valores que se muestra, en la tabla (32): la cual se deriva del modelo de flujo pistón.



**TABLA 32. VALORES PARA CALCULAR EL TIEMPO RETENCIÓN HIDRÁULICA.**

<b>C<sub>i</sub></b>	Concentración de $DBO_5$ en el afluente ( $mg/l$ )	40	$TRH = \frac{(lnC_i - lnC_e)}{K_T}$
<b>C<sub>e</sub></b>	Concentración de $DBO_5$ en el efluente ( $mg/l$ )	20	
<b>K<sub>T</sub></b>	Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura. $K_T = 1,104 * (1,06)^{T-20}$  ( $día^{-1}$ )	1.16	$TRH = \frac{(ln40 - ln20)}{1.16}$  $TRH = 0.59$ días = 14hrs.
<b>T</b>	Temperatura del agua ( $°C$ )	21.9	
<b>TRH</b>	Tiempo de retención hidráulico (días)	0.59	

Fuente: Propia (2016).

### Área de la sección transversal

La ecuación y los valores para calcular el área de la sección trasversal del humedal se muestran en la tabla (33):

**TABLA 33. VALORES PARA CALCULAR EL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.**

<b>Q</b>	Caudal promedio a través del lecho ( $m^3/d$ )	172.8	$Av = \frac{Q}{K_s * S}$
<b>K<sub>s</sub></b>	Conductividad hidráulica del sustrato ( $m^3/m^2/día$ )	500	
<b>S</b>	Pendiente del fondo del humedal (%)	1	$Av = \frac{172.8}{500 * 0.01} = 34.5m^2$
<b>Av</b>	Área vertical del humedal ( $m^2$ )	34.5	

Fuente: Propia (2016).

### Ancho del humedal

En la tabla 34 se muestran los valores para calcular el ancho del humedal, así como la ecuación correspondiente.

**TABLA 34. VALORES PARA CALCULAR EL ANCHO DEL HUMEDAL**

<b>Av</b>	Área vertical del humedal ( $m^2$ )	34.5	$B = \frac{Av}{h} = \frac{34.5}{0.8} = 43.1m$
<b>h</b>	Altura del humedal ( $m$ )	0.8	
<b>B</b>	Ancho del humedal ( $m$ )	43.1	

Fuente: Propia (2016).

### Longitud del humedal

En la tabla 35 se muestran los valores para calcular la longitud del humedal, así como la ecuación correspondiente.



**TABLA 35. VALORES PARA CALCULAR LA LONGITUD DEL HUMEDAL**

<b>As</b>	Área superficial del humedal	(m <sup>2</sup> )	<b>403.33</b>	$L = \frac{As}{B} = \frac{403.3}{43.1} = 9.36m$
<b>B</b>	Ancho del humedal	(m)	43.1	
<b>L</b>	Longitud del humedal	(m)	9.36	

Fuente: Propia (2016).

El área superficial del humedal contempla un valor igual a 403.33 m<sup>2</sup>, una longitud de 9.36 m y el ancho de 43.1 m, por lo tanto un volumen efectivo de 322.73 m<sup>3</sup>. El tiempo de retención hidráulico es de 14.2 horas. Adoptando el criterio de diseño establecido por Crites, Middlebrooks, & Reed (2006), el humedal sub superficial será dividido en 3 unidades las cuales tendrán una relación largo-ancho de: 3:1, como se detalla en la figura 5.15.

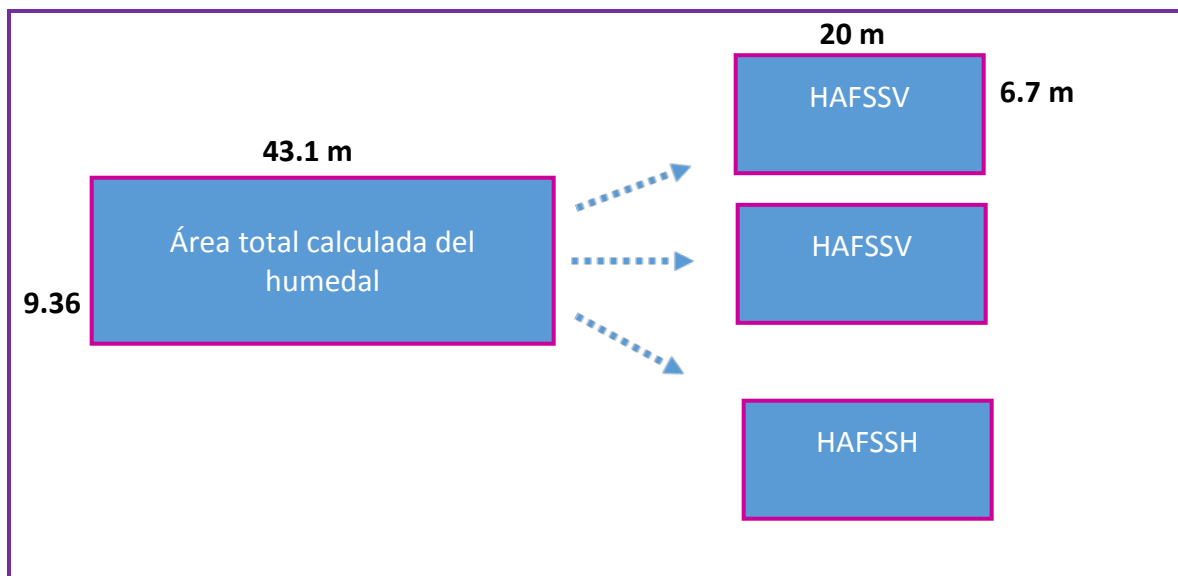


Figura 5.15. Área superficial de humedales artificiales híbridos.

Fuente: Propia (2016)

El cálculo y diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial está basado en el tipo de vegetación y en la profundidad efectiva de 0,80 m, criterios recomendados por (EPA, 1988; Vymazal y Kröpfelová, 2007; Von Muench, 2011) para favorecer la adecuada disminución del DBO, SST y los nutrientes que contiene el agua residual a ser tratada. Se contempla un sustrato conformado por gravas y arena con características específicas detalladas en el proceso de diseño.



En los humedales artificiales de tipo vertical (Figura 5.16), las aguas residuales se vierten o dosifican a la superficie del humedal desde arriba usando un procedimiento mecánico de dosificación. El agua dosificada verticalmente por la matriz del filtro. El medio filtrante actúa como tamiz para eliminar sólidos, así como una superficie fija para que las bacterias se sujeten, y como una plataforma que funciona como sustrato para la vegetación. La capa superior es plantada con vegetación que puede desarrollar raíces profundas y gruesas, que entran en el medio de filtración. (Delgadillo, Camacho, Pérez, y Andrade, 2010).

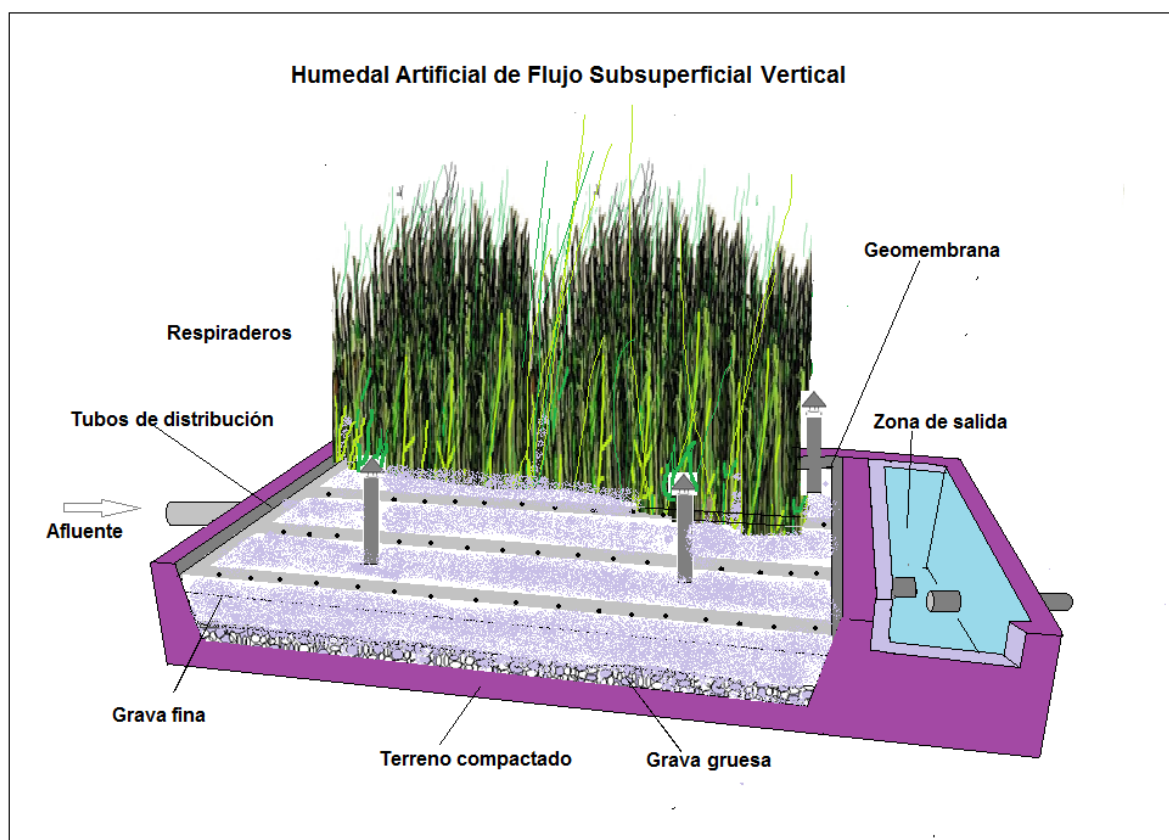


Figura 5.16. Humedal artificial sub superficial de flujo vertical  
Fuente: Propia (2016).

Los humedales de flujo subsuperficial que proporcionen tratamiento secundario deben impermeabilizarse con el fin de evitar el contacto directo entre las aguas residuales y las





aguas subterráneas; es así que, el humedal se impermeabilizará a través de una Geomembrana de polietileno de 0,75mm.

El sustrato utilizado para el diseño del humedal de flujo vertical (HAFSSV) de granulometría especial y previamente lavado para evitar colmatación en el sistema se distribuye en la cubeta, manteniendo las distancias de colocación. La tubería de drenaje de 4 pulgadas debe ser perforada con circunferencias de diámetro de 4 cm y espaciados entre sí a 2 m. La tubería de distribución del agua será de 3 pulgadas, con orificios de 6mm de diámetro separados entre sí a 60 cm. La figura 5.17 muestra la distribución del sustrato en el humedal de tipo vertical.

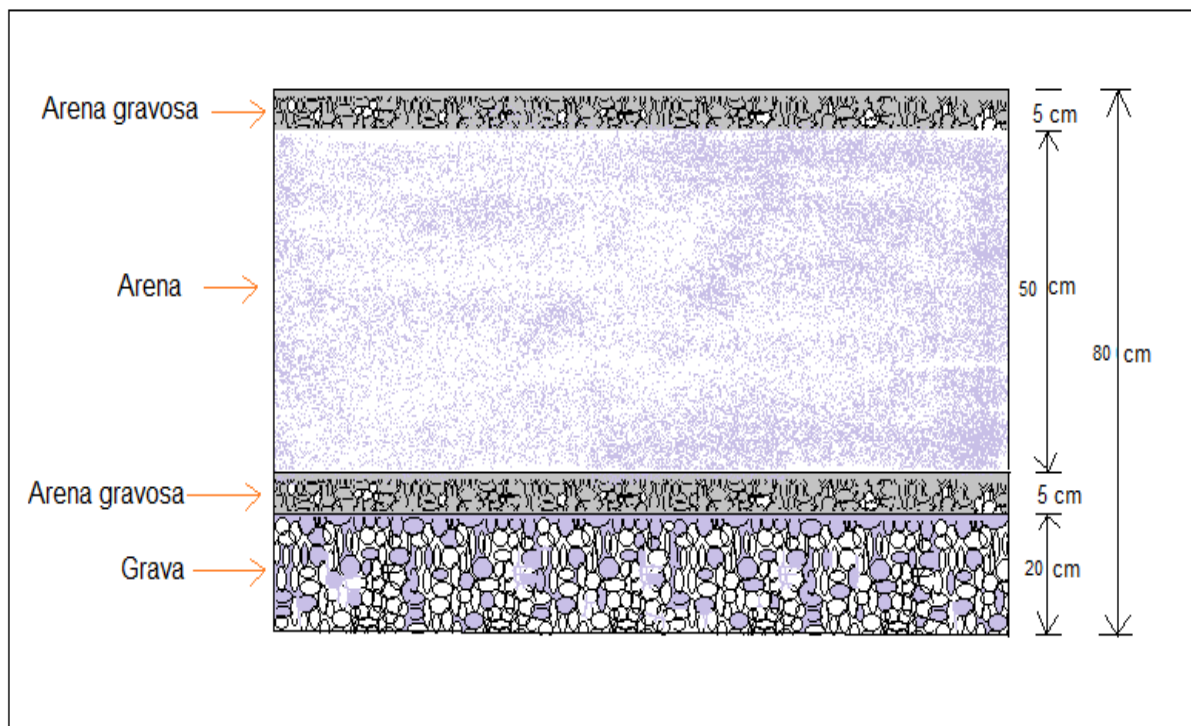


Figura 5.17. Distribución de sustrato en el humedal vertical (HFSSV).

Fuente: Propia

Los humedales ASSFH pueden eliminar de forma efectiva los contaminantes orgánicos (SST, DBO5 y DQO) de las aguas residuales. Debido a la poca transferencia de oxígeno en el interior del humedal, la remoción de nutrientes (especialmente el nitrógeno) es limitada, sin embargo, los humedales FV eliminan los nitratos existentes en las aguas



residuales, mencionado en el humedal de flujo vertical. El diseño de humedales de flujo subsuperficial debe permitir una inundación controlada a 15 cm para promover un crecimiento deseable de plantas y controlar la maleza. La presente imagen corresponde al Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal con las mismas medidas que el de Flujo vertical. Las diferencias son: la distribución de los tubos y el sustrato, el de flujo horizontal tiene rocas (grava de diámetro 6-10cm).

Los HASS-H, vierten a la entrada del humedal las aguas que fluyen de forma pasiva a través del sustrato poroso de la superficie del lecho siguiendo una trayectoria horizontal hasta que llega a la zona de salida, en este desplazamiento de las aguas residuales entran en contacto en espacios aerobio (cerca de las raíces y rizomas de los vegetales) y anaerobio. El agua en su paso por la rizosfera se limpia mediante degradación microbológica. La figura 5.18 muestra la distribución del sustrato en el humedal de tipo horizontal.

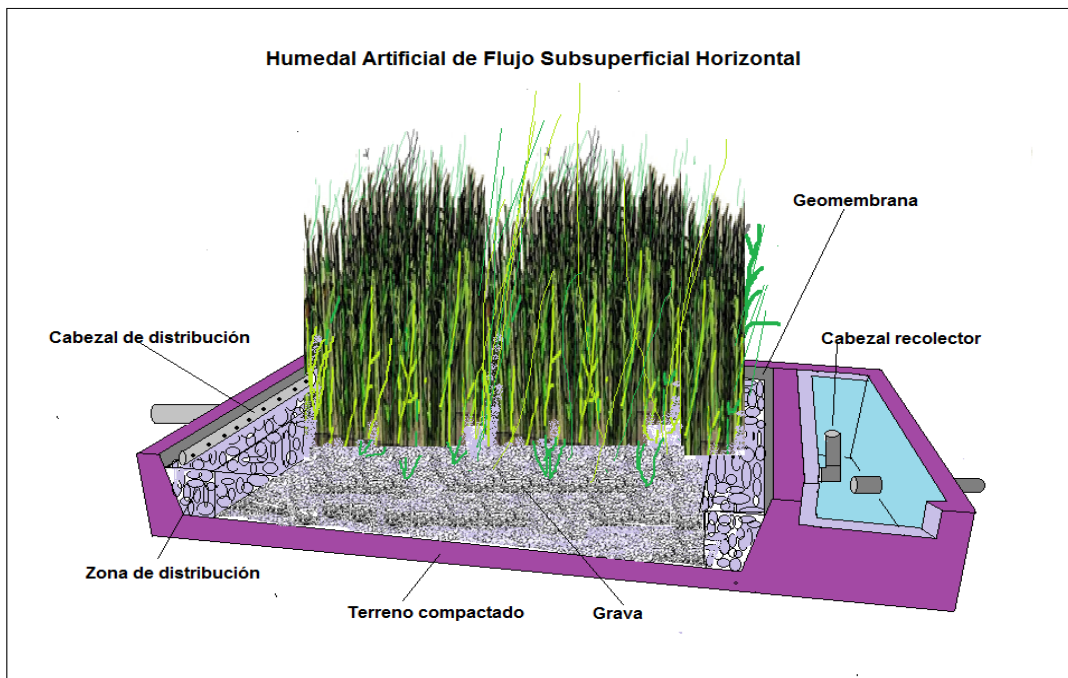


Figura 5.18. Humedal artificial sub superficial de flujo horizontal. Fuente: Propia (2016).



La figura 5.19 muestra la distribución del sustrato en el humedal de tipo horizontal.

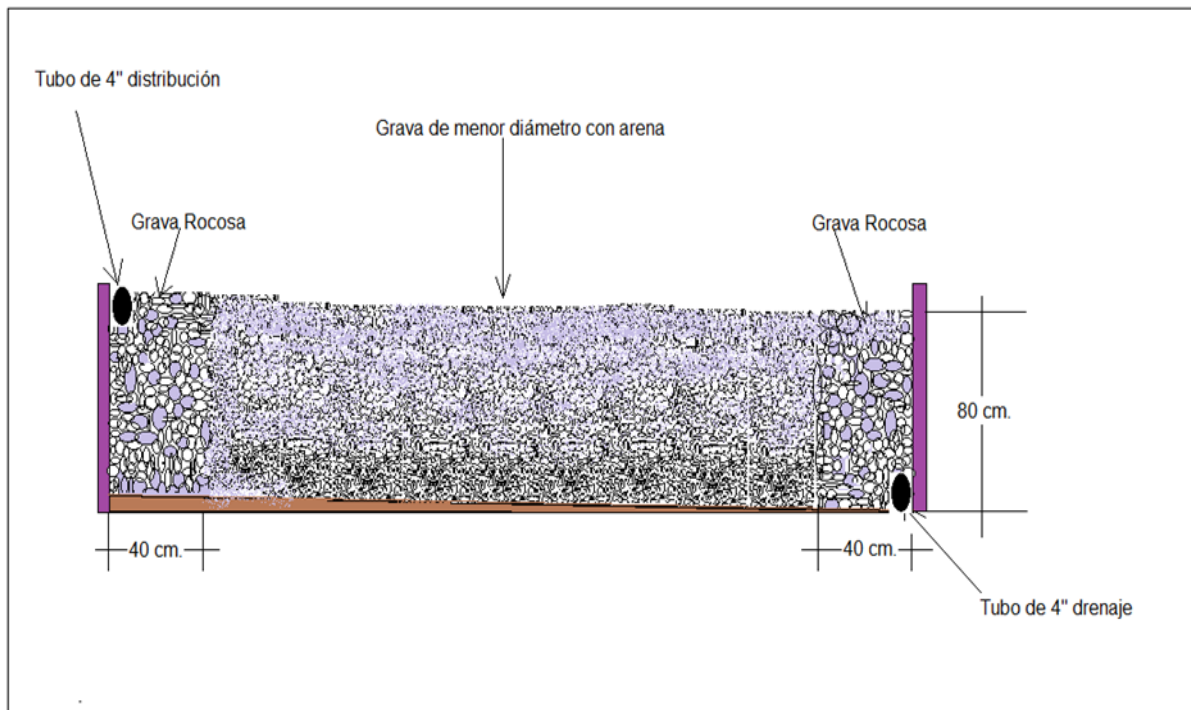


Figura 5.19. Selección y distribución del sustrato en HFSSH  
Fuente: Propia (2016).

#### 5.3.14 Laguna de maduración

Una vez que el proceso llega a esta fase en la laguna de maduración y como sistema terciario, se señala la finalidad de reducir los componentes patógenos y las coliformes encontradas y descritas en el capítulo cinco de este documento, recordando que aunque no rebasa la normatividad, se considera este paso para obtener una mejor calidad de agua que posibilite su uso como recurso sustentable en el ámbito social a través de la conformación de un parque temático y de recreación, asimismo, en el ámbito económico con prospectiva de desarrollo local y regional, toda vez que en el panorama ambiental este espacio es considerado como un área natural protegida que en este tenor y de acuerdo a la propuesta planteada de conservación a partir de los humedales artificiales híbridos.





En este sentido, la laguna de maduración dispuesta en el último componente de la línea de tratamiento es construida para recibir el agua en un proceso de tratamiento primario y secundario, posibilita conseguir remociones de coliformes totales y fecales mayores a 90%, por lo que se considera adecuada para el objetivo de este trabajo. La dimensión para esta laguna comprende un área que no debe rebasar las dos hectáreas, para este caso el sistema de maduración tiene medidas de 30m de ancho por 40 m de largo, que corresponden a 1200 m<sup>2</sup> del total del área, la profundidad puede fluctuar entre 0.90 a 1.5 m. El diseño presenta ocho canales con medidas de 5 m de ancho por 30 m de largo, así el agua recorre 240 m. (Figura 5.20). Es importante considerar que en este proceso el crecimiento de algas es diversa lo que trae como ventaja una sinergia entre la actividad de los vegetales acuáticos y la foto-oxidación.

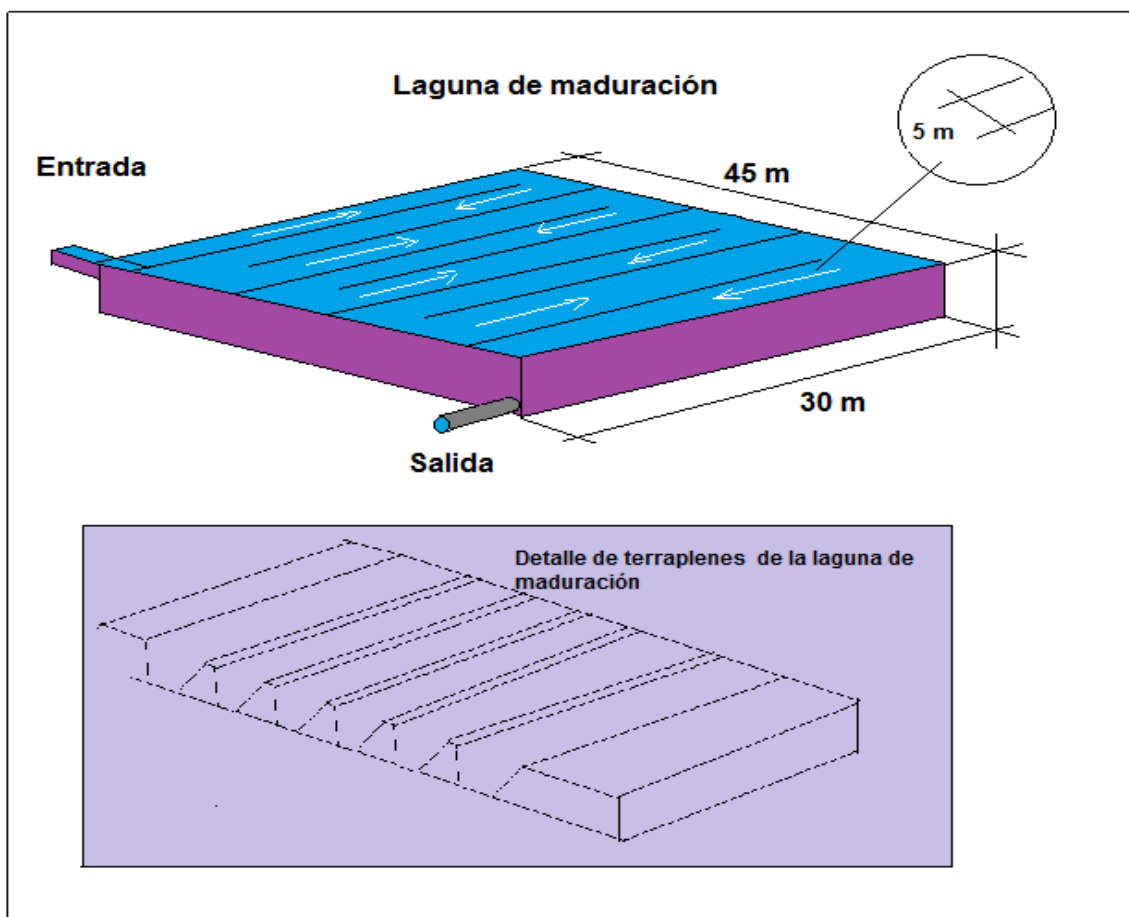


Figura 5.20. Laguna de maduración.

Fuente: Propia



A pesar que este sistema de maduración solo remueve una pequeña parte de la demanda química de oxígeno, su efectividad se centra en la remoción de nitrógeno y fósforo, así mismo, la mayoría del nitrógeno amoniacal se remueve en esta fase. Estos sistemas al soportar cargas orgánicas bajas, prevalecen en ella condiciones propicias de entrada de radiación solar en aguas relativamente claras y poco profundas, lo que origina el desarrollo de micro algas por lo que predomina el oxígeno disuelto y con ello la presencia de microorganismos acuáticos aerobios heterótrofos, en este sentido radica la importancia de sugerir un ambiente con características que propicien el desarrollo de vida y agua en mejores condiciones y para los usos que sea conveniente.



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

*“El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza”*

*Leonardo Da Vinci*



A nivel mundial, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas consideradas como un punto de partida de la contaminación microbiana, por otro parte, los lagos y pantanos son altamente vulnerables a los impactos negativos de la eutrofización que se debe a su complejo dinamismo, con un lapso de residencia del agua relativamente largo y a la concentración de contaminantes que proceden del drenaje, (PNUMA, ERCE y UNESCO, 2008).

La importancia del uso de técnicas y métodos que coadyuven al tratamiento de ecosistemas hidrológicos contaminados, es sin duda, una de las estrategias que en la actualidad se está recurriendo para identificar, cuantificar y cualificar los tipos y fuentes de contaminación que dañan a las zonas húmedas.

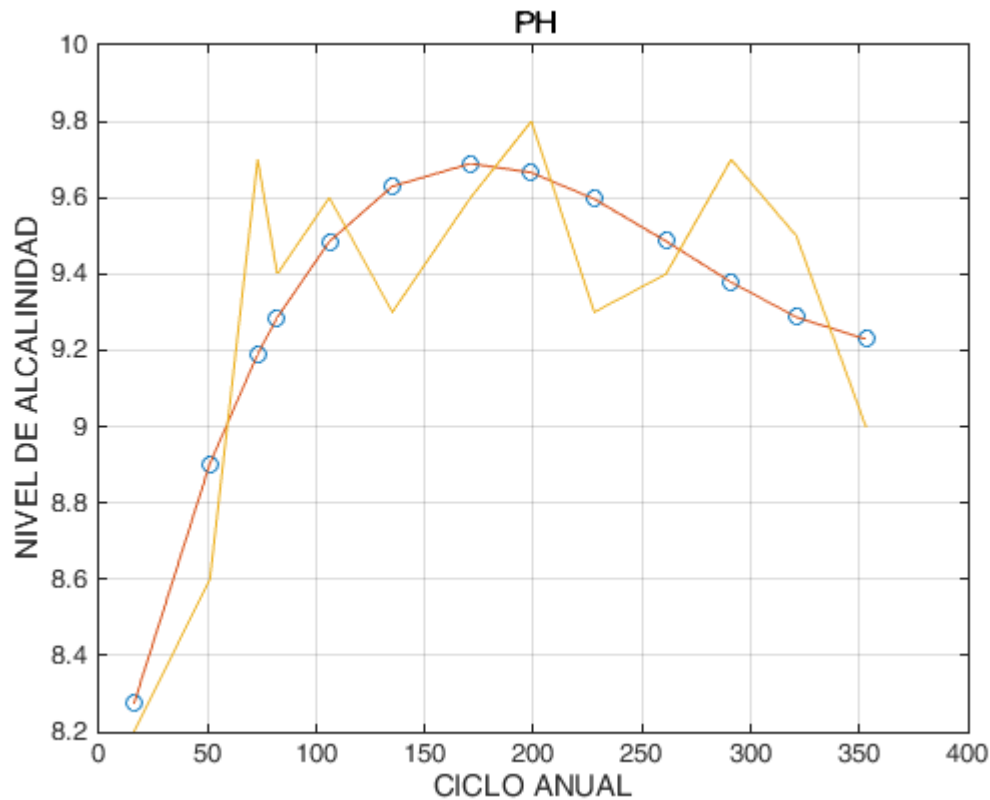
### **6.1 Elementos fisicoquímicos**

Las características fisicoquímicas determinadas para el ecosistema hídrico de este estudio de caso refieren: en **la gráfica 1** el pH medido en los dos cuerpos de agua “b y c”, para cada punto de muestreo, se encontró un promedio de 9.3. Mihelcic (2012) describe que todas las aguas naturales comprenden un pH entre 6 y 9, sin embargo, la concentración adecuada para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecha y crítica, la mayoría de las especies acuáticas prefieren un rango de 6.5 a 8.0, fuera de este rango se reduce la diversidad por estrés fisiológico y reproducción (Roldán, 2003).

Esto en gran medida se debe al tipo de suelo encontrado en la zona lacustre que corresponde a *Gleysol* de formación de suelo pantanoso que se encuentran en zonas donde se acumula y estanca el agua la mayor parte del año dentro de los 50 cm de profundidad. Se caracterizan por presentar, en la parte donde se saturan con agua,



colores grises, azulosos o verdosos. Asimismo, el *Solonchak*, se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes más bajas de los valles y llanos.



Gráfica 1. Valores de PH.

El pH de la solución tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (Riechaman 2002). Al aumentar el pH, los metales pesados son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides disminuyendo su biodisponibilidad (Basta y Tabatabai 1992). Por lo tanto, en suelos agrícolas con cargas variables, la retención de los cationes metálicos aumenta en la medida que el pH sea más alto y se reduce al acidificarse el suelo o el agua.



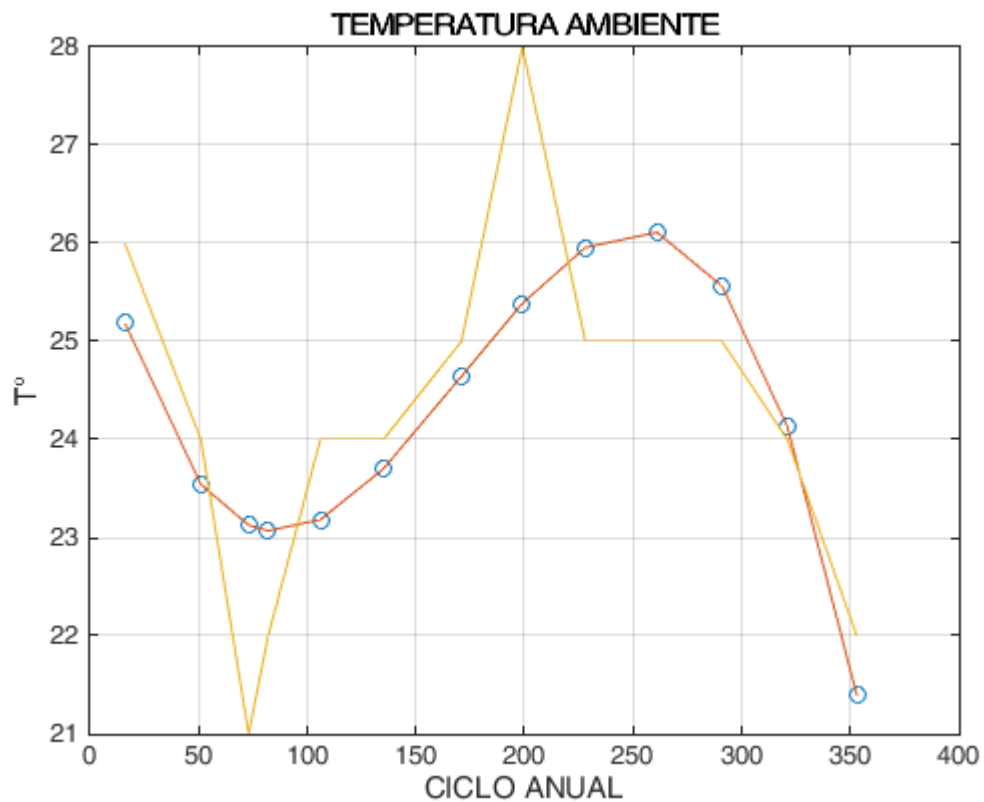
Los valores deben estar siendo determinados por la disolución de sales de suelo e incrementando probablemente por la acción del viento, al acarrear partículas hacia el interior del embalse lo que produce un cambio de bicarbonatos ( $342 \text{ mg L}^{-1} \pm 86 \text{ mg L}^{-1}$ ) a carbonatos ( $418 \text{ mg L}^{-1} \pm 67 \text{ mg L}^{-1}$ ), tal tendencia se da por los valores del pH reportados ( $9.3 \pm 0.3$ ) que de acuerdo con Wetzel (1975) a niveles mayores de 9.5 el carbonato comienza a adquirir preponderancia en la alcalinidad que el cuerpo de agua presente. Además, a un incremento del pH, el  $\text{Ca}^{++}$  decrece y los cationes principales en solución son  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^{++}$ , en ocasiones, cantidades apreciables de  $\text{K}^{+}$ , los cuales contribuyen más a la alcalinidad del agua. De esta forma, aunado a la alta evaporación (mayor que la precipitación que no se compensa con la precipitación pluvial; y a un continuo arrastre del suelo (de tipo alcalino-sódico) al interior del embalse por la acción de los vientos, el cuerpo de agua de San Miguel Xico se considera de acuerdo a los resultados de tipo alcalino, con un pH básico, predominando en orden de dominancia los iones:  $\text{Cl}^{-} > \text{CO}_3^{=} > \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Na}^{+} > \text{K}^{+} > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$ , es decir, con mayores concentraciones de los cationes sodio y potasio y de los aniones cloruros y carbonatos y cuyos valores sobrepasan los límites máximos permisibles para la agricultura (Jiménez y Ramos, 1997).

La temperatura como factor abiótico regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Esta variable física influye de manera notable en la calidad del agua, en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, sedimentación y filtración.

La influencia relevante es la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de putrefacción. Variados factores, especialmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe consecutivamente. La radiación solar determina la calidad y cantidad de luz y además



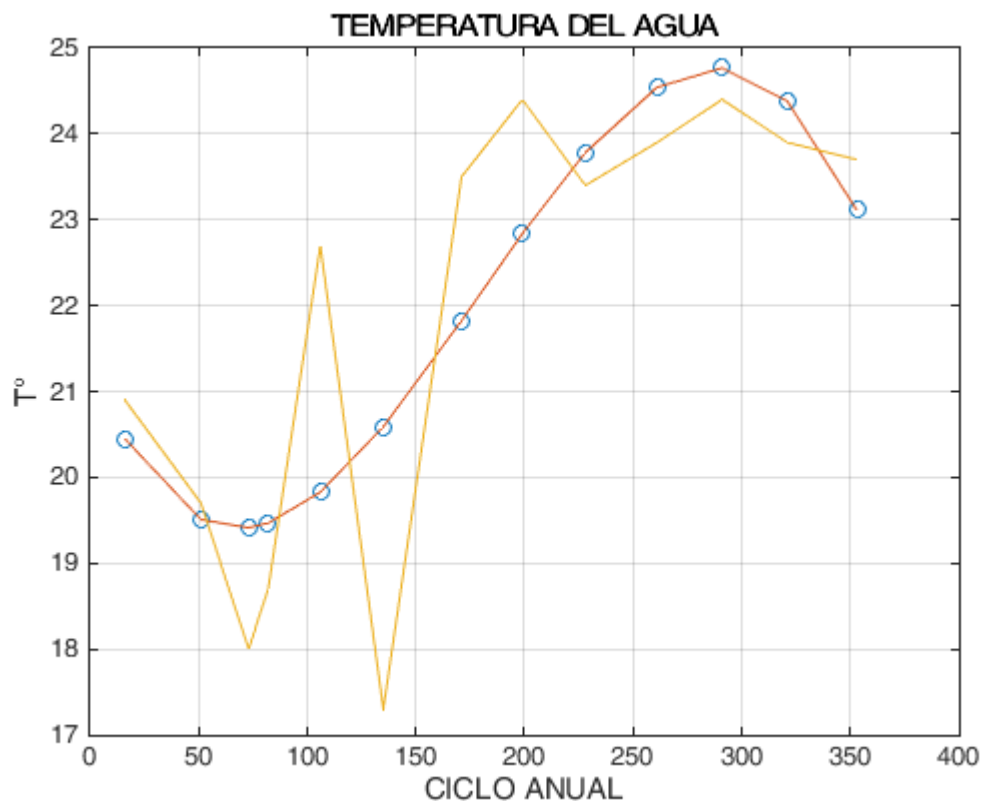
afecta la temperatura del agua. **La grafica 2 (a, b)** que se muestra para este estudio se observa un promedio de temperatura media anual del cuerpo de agua de 21.9°C por 24.2°C de Temperatura ambiente y corresponde al rango y fluctuación del clima templado subhúmedo C(w) con temperaturas que oscilan entre 15° a 22°C.



Gráfica 2a. Valores de temperatura ambiente

En las zonas templadas la temperatura varía ampliamente por el cambio de estaciones, en las zonas tropicales se mantiene más o menos constante, se conserva siempre fría en las altas montañas y cálida al nivel del mar. Así los organismos sometidos a cambios estacionales soportan más los cambios de temperatura y sus ciclos de vida están acoplados a estos cambios.





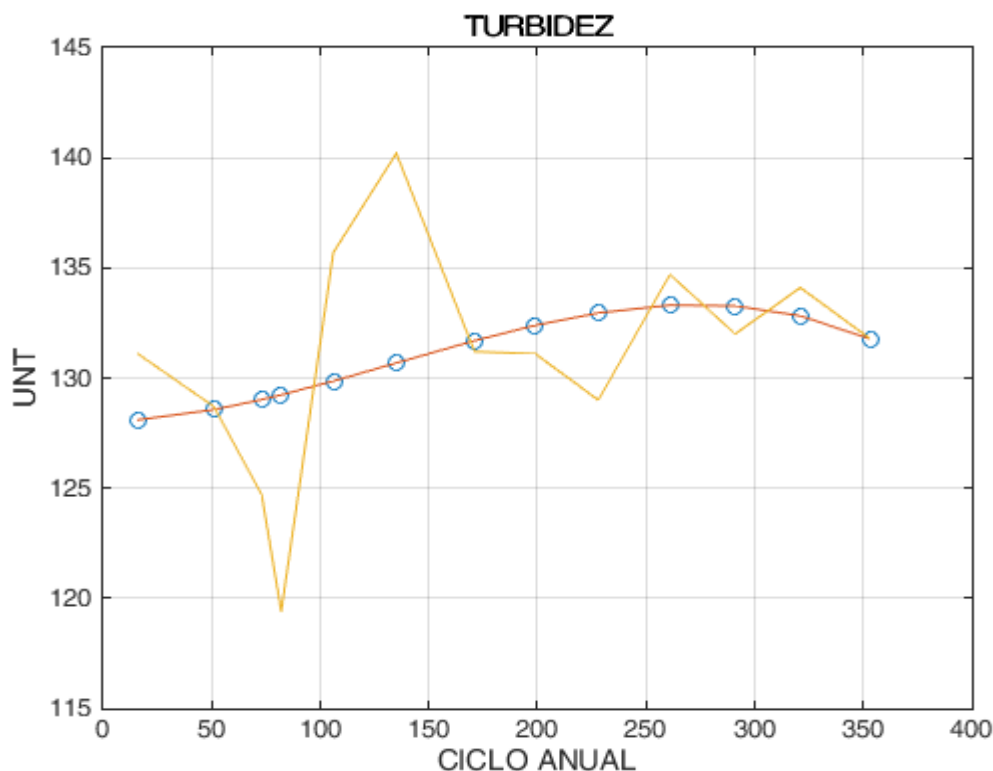
Gráfica 2b. Valores de temperatura ambiente

La temperatura del agua, junto con la luz, son los factores físicos que determinan los procesos fotosintéticos en los productores primarios y su evaluación es imprescindible, lo que se observa en la gráfica es un comportamiento homogéneo entre ambas temperaturas que no genera cambios importantes en la columna de agua, así bien, en el caso de descargas de agua residual con temperaturas elevadas ocasiona daños a la flora y fauna, asimismo el crecimiento de bacterias. La solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura, así, a mayor temperatura menor solubilidad.

**La grafica 3** presenta los valores de turbidez encontrada en el ciclo de muestreos anual, esta considera una medida de calidad de agua, las unidades son llamadas nefelometrías y la OMS considera el máximo permisible para consumo humano no mayor a 5 UNT.







Gráfica 3. Valores de turbiedad

La turbiedad es causada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida); aquellas que, por su tamaño, se hallan suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Orozco, 2003). Este fenómeno óptico que consiste en una absorción de luz combinada con un proceso de difusión, las partículas insolubles responsables de esta turbiedad pueden ser aportadas tanto por mecanismos de arrastre como de remoción de tierras y también por vertidos urbanos e industriales, La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro (UNT).

Aunque no se conocen los efectos directos de la turbiedad sobre la salud, esta afecta la estética del agua y del paisaje, lo que ocasiona contaminación visual y por ende el rechazo comunal para emprender proyectos y actividades en el área. Los estándares internos de la EPA (2000) establecen que las aguas de consumo humano deben tener



preferentemente una UNT y en ningún caso más de 5 UNT (OMS, 1996), como se observa en la tabla 36:

**TABLA 36. ESTÁNDARES DE EPA CONSIDERA UNA UNT PARA CONSUMO HUMANO.**

MARGEN UNT	INFORME DE CIFRA UNT
0-1,0	0,05
1-10	0,1
10-40	1
40-100	5
100-400	10
400-1000	50

Los datos que se observan en la gráfica3 y en la tabla 35, sobrepasan los 130 UNT, lo que representa una calidad de agua que rebasa los estándares internos de la EPA, corresponden al margen de 100 a 400 UNT que corresponde a informe de cifra UNT 10.

Fuente: OMS (1996).

En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los que más influye en los costos de producción, porque, por lo general, requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación. La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, de sólidos, incluso el plancton o las descargas directas (Figura 6).

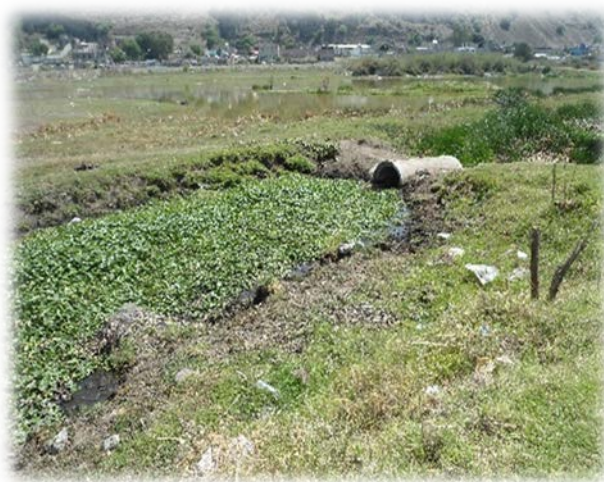
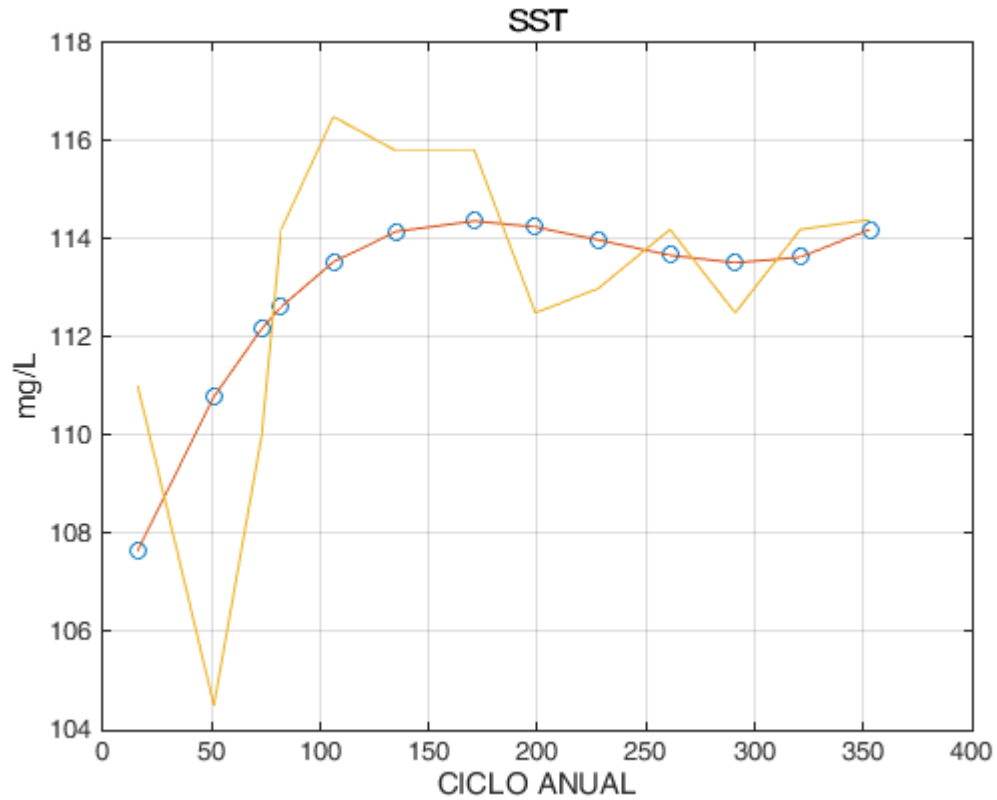


Figura 6. Maleza acuática.  
Fuente: Propia (2015).



La gráfica 4 presenta los resultados obtenidos de sólidos suspendidos totales (SST) el promedio general del ciclo anual 112 mg/L, y que de acuerdo al criterio de la norma 001 de SEMARNAT/1997, se considera aceptable.



Gráfica 4. Valores de sólidos suspendidos totales

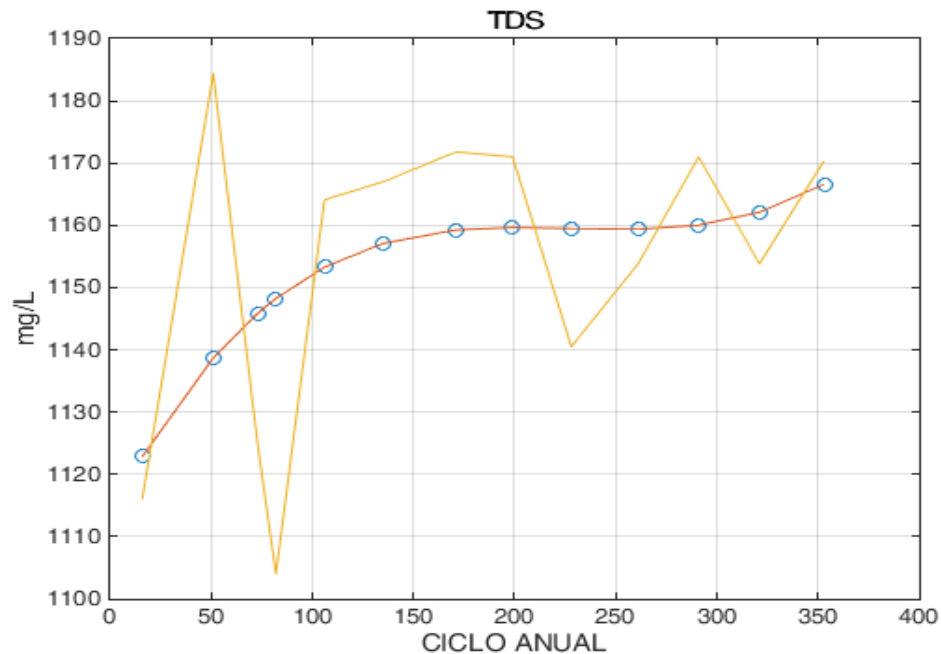
La tabla 37 muestra los criterios máximos permisibles para los sólidos suspendidos totales tales como limos, arcillas, arenas, virus, que son los responsables de las impurezas visibles.

TABLA 37. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE SST/NOM 001/SEMARNAT/1997	
Criterio ml/l	Criterio
$\leq 25$ SST	Excelente
$25 < SST \leq 75$	Buena
$75 < SST \leq 150$	Aceptable
$150 < SST \leq 400$	Contaminada
$400$ SST	Fuertemente contaminada



Si bien los resultados arrojados en este ciclo de toma de muestras de SST, exponen condiciones de contaminación por el arrojado de aguas residuales en condiciones aceptables, con valores en promedio anual de 113 mg/L, que ubica la norma 001-SEMARNAT/ 1997 en el criterio  $75 < SST \leq 150$  como aceptable, empero, un incremento de este parámetro produce turbiedad reduciendo el paso de luz del sol a través de la columna de agua, como se observó en los resultados de la gráfica 3, como consecuencia de este factor se limita la actividad fotosintética necesaria en la producción de oxígeno disuelto.

La **gráfica 5** presenta los resultados obtenidos de sólidos disueltos totales (SDT), la materia sedimentable se define como la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas. En laboratorio se mezcló cada muestra con la finalidad de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido, se dejó sedimentar por 45 minutos para poder desprender los sólidos a las paredes del cono Imhoff.



Gráfica 5. Valores de Sólidos disueltos totales.

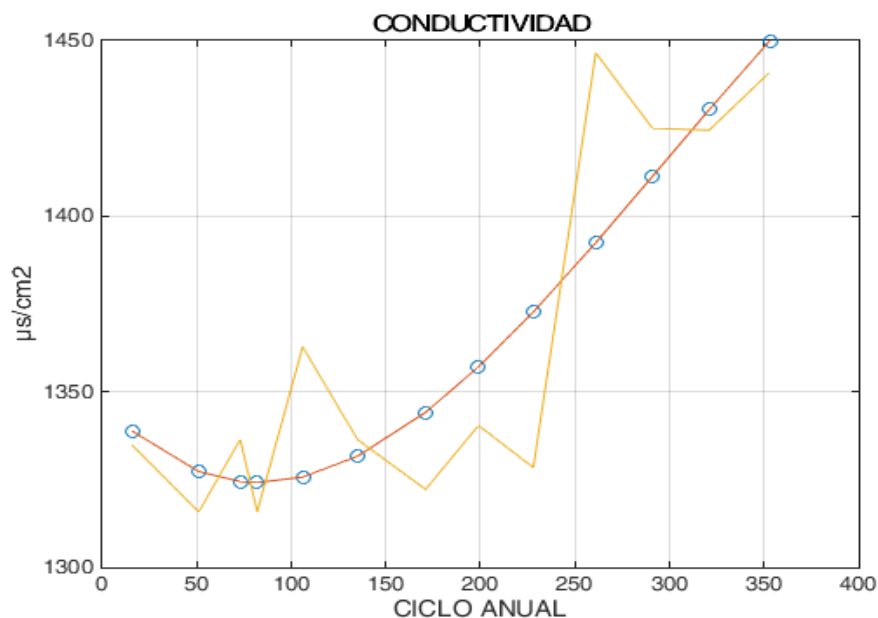


Los sólidos disueltos como sales, minerales y metales disueltos se pueden determinar a través de pruebas de conductividad, las precipitaciones y escurrimientos al contacto con el espejo de agua, van diluyendo materia sumamente fina en el suelo, sales, fertilizantes que provienen de material rocoso, así como lixiviados de basura y desechos industriales, que se mantienen en suspensión y causan turbiedad (Figura 6.1).



Figura 6.1 Presencia de sales  
Fuente: Propia (2015).

La salinidad excesiva puede dañar los cultivos. Iones específicos como el sodio, los cloruros y el boro son tóxicos. El sodio puede afectar la permeabilidad de los suelos (USEPA, 1992). Asimismo, se observan altos valores de conductividad que oscila en promedio anual  $1363 \mu\text{s}/\text{cm}^2$ , los que se pueden atribuir a la disolución de sales inorgánicas (Kehew, 2001). y minerales presentes en los residuos con un valor promedio anual de  $1153 \text{ mg}/\text{L}$ . **La gráfica 6** muestra los valores obtenidos de conductividad.



La conductividad eléctrica expuso, que las muestras tienen valores menores a 2000  $\mu\text{S}$  cm, lo que indica que el agua analizada, bajo el criterio de estos dos parámetros y desde el punto de vista agrícola, es recomendable de acuerdo con Ayers y Westcot (1987).

La tabla 38 muestra el resumen de los resultados obtenidos en el ciclo anual en el área de estudio de Xico en Valle de Chalco y se contrasta con los límites máximos permisibles para uso en contacto directo (NOM-003-SEMARNAT-1997), así como para la protección de vida acuática (NOM-001/SEMARNAT-1997) y para consumo humano (NOM-127-SSA-1994). Asimismo, se señalan cada uno de los parámetros evaluados en la tabla 18 en el conjunto de metales pesados, arsénico, nitrógeno y fósforo total.

**TABLA. 38. RESUMEN DE 13 MUESTREOS ANALIZADOS EN XICO, EN COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.**

PARÁMETRO	NOM-127-SSA1-1994	RESULTADOS EN XICO	CONTACTO DIRECTO PUBLICO	CONTACTO INDIRECTO PUBLICO
Coliformes (nmp/100 ml)	240	<30	240	1,000
Huevos de helminto (h/l)	≤1	<1	≤1	≤5
Grasas y aceites (mg/l)	15	15	15	15
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	0	40	20	30
DQO	0	40	20	30
SST (mg/l)	20	113	20	30

Fuente: Propia (2016).

Si una muestra de agua contiene microorganismos indicadores hay evidencia de contaminación, entonces es posible que existan otros microorganismos patógenos. La evidencia encontrada es E. Coli. La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes.



Los huevos de helminto encontrados en las muestras incluyen un grupo amplio de parásitos de ser humano, animales y vegetales. Por ejemplo, áscaris y Taenia. El límite máximo permisible es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido y de cinco huevos por litro para riego restringido. De acuerdo con contreras (1996) existen formas biológicas capaces de contrarrestar las coliformes, a través de Pseudomonas aeruginosa que posee un efecto bactericida.

Los indicadores de DBO, DQO, SST y grasas y aceites, rebasan la norma establecida, sin embargo y de acuerdo con la CONAGUA (2014) utiliza la DBO y DQO como indicadores para evaluar la calidad del agua en una cuenca, desde el punto de vista de afectación del agua por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable.

Estos parámetros permiten conocer gradientes que van desde una condición natural o sin influencia antrópica, hasta agua que muestra señales o aportaciones importantes de descargas residuales municipales y no municipales. Los resultados obtenidos en el estudio muestran parámetros que rebasan la norma (40 mg/l) en ambos casos para la norma NOM-127-SSA1-1994. Sin embargo, dentro de los límites que establece la Comisión Nacional del Agua, considera un criterio de  $6 < \text{DBO}_5 \leq 30$ , mientras que para DQO, el criterio es  $20 < \text{DQO} \leq 40$  en una clasificación aceptable con indicio de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.

La (DBO5) determina la cantidad de materia orgánica biodegradable y la (DQO) mide la cantidad total de materia orgánica químicamente oxidable. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas hídricos.



Mihelcic (2012) señala que la materia orgánica producida en las aguas superiores iluminadas se va hacia el fondo, en donde se descompone consumiendo oxígeno. El agotamiento del oxígeno es uno de los problemas de calidad del agua más importantes y comúnmente observados en lagos. Es probable la presencia de organismos patógenos en el cuerpo de agua muestreado o la presencia de coliformes que indica la posible aparición de microorganismos perjudiciales, observados en los resultados con la presencia de coliformes y huevos de helminto.

El nitrato ( $\text{NO}_3$ ) es una forma de nitrógeno. Es una parte natural del suelo y de las aguas subterráneas, las bacterias naturales del suelo pueden convertir nitrógeno a nitrato, asimismo las actividades antropogénicas como el uso de fertilizantes, plaguicidas o la aplicación de estiércol de ganado sobre el suelo han incrementado las concentraciones de nitrato en el agua potable hasta niveles superiores del estándar que marca la EPA (2010), contaminando los sistemas acuáticos y con capacidad de afectar la salud de los seres humanos y de organismos vivos. Si bien los resultados obtenidos de nitrógeno total 14.5 mg/l, se consideran elevados para el consumo humano, no así para el promedio de protección de la vida acuática como se observa en la tabla 39.

**TABLA. 39. COMPARACIÓN ENTRE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ESTABLECIDOS NOM-001-SEMARNAT-1997 Y LOS VALORES OBTENIDOS FÓSFORO, NITRÓGENO, ARSÉNICO Y METALES PESADOS.**

PARÁMETRO	NOM-127-SSA1-1994 CONSUMO HUMANO	RESULTADOS EN XICO	PROMEDIO PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA	
			Diario	Mensual
Fósforo Total (mg/l)	0	<b>2.88</b>	5	10
Nitrógeno total (mg/l)	0	<b>14.5</b>	15	25
Arsénico (mg/l)	0.05	<b>0.0064</b>	0.1	0.2
Cadmio (mg/l)	0.005	<b>&lt; 0.02</b>	0.1	0.2
Cianuros (mg/l)	0.07	<b>&lt; 0.005</b>	1.0	2.0
Cobre (mg/l)	2.0	<b>&lt; 0.05</b>	4.0	6-0
Cromo (mg/l)	0.05	<b>&lt; 0.05</b>	0.5	1.0
Mercurio (mg/l)	0.001	<b>&lt; 0.001</b>	0.005	0.01
Níquel (mg/l)	0	<b>&lt; 0.06</b>	2.0	4.0
Plomo (mg/l)	200	<b>&lt; 0.1</b>	0.2	0.4
Zinc (mg/l)	5.00	<b>0.314</b>	10	20





Se muestran productos naturales de descomposición de compuestos inorgánicos nitrogenados, posiblemente provenientes de aguas residuales agrícolas, materia fecal de animales, pesticidas, animales muertos y descomposición de vegetales, lo que promueve el crecimiento de organismos para uso en los cultivos, pero tóxico si sobre pasa a los cuerpos de agua.

Por otro lado, el fósforo total rebasa los límites máximos permisibles para consumo humano y al igual que los nitratos, está dentro de la norma para la protección de vida acuática con valores de fósforo de 2.8 mg/l. Elementos como el fósforo aceleran la descomposición de la materia orgánica en el agua, que resulta del exceso de consumo del oxígeno y la eutrofización de los cuerpos de agua. Se debe al uso masivo de detergentes (Roldan, 2003).

Los metales pesados se determinaron mediante el uso de la técnica ima 5300, utilizándose la metodología recomendada por la EPA (Environmental Protection Agency) y APHA (American Public Health Association). Se comparó la calidad del agua superficial con los criterios de la NOM-001-ECOL-1996, de EPA (1986), de SEDUE (1989) y la modificación a la NOM-127-SSA1-1994.

Los metales pesados se comprobaron con la técnica de espectrometría de emisión atómica, a través de plasma de acoplamiento inductivo, modelo Perkin Elmer 5300 Optima, en el laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados, asimismo, los metales pesados analizados fueron As, Cd, Cianuros, Cu, Cr, Hg, Ni, pb y Zn, como refiere la tabla 18. Los límites de cuantificación fueron los siguientes: 0.0064, <0.02, <0.005, <0.05, <0.05, <0.001, <0.06, <0.1 y 0.314 (mg/ L), para los metales respectivos.

Para evaluar la calidad del agua, se utilizaron los criterios de EPA, (1986), la NOM-001-ECOL-1996 (ECOL, 1997) y los criterios ecológicos de calidad de agua para diferentes



usos (SEDUE 1989), que establecen los límites máximos permisibles para metales pesados contenidos en el agua para uso en riego agrícola y urbano (Tabla 40).

**TABLA 40. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y ARSÉNICO: NOM-001-ECOL-1996**

PARÁMETRO	RESULTADO XICO	AGUAS NATURALES EPA 1986	RIEGO AGRÍCOLA SEDUE 1986	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE SEDUE 1986	RECREATIVO E INDUSTRIAL SEDUE 1986
Arsénico (Mg/L)	<b>0.0064</b>	0.05	0.1	0.05	-
Cadmio (Mg/L)	<b>&lt; 0.02</b>	0.01	0.01	0.01	0.01
Cobre (Mg/L)	<b>&lt; 0.05</b>	1.5	0.2	1	0.1
Cromo (Mg/L)	<b>&lt; 0.05</b>	0.1	1	0.05	0.1
Mercurio (Mg/L)	<b>&lt; 0.001</b>	0.002	-	-	-
Níquel (Mg/L)	<b>&lt; 0.06</b>	0.632	0.2	0.01	-
Plomo (Mg/L)	<b>&lt; 0.1</b>	0.0015	5	0.05	0.1
Zinc (Mg/L)	<b>0.314</b>	5	2	5	-

Sin embargo, el Cd, el Ni, el Pb y el Zn, sobrepasan los límites máximos permisibles en agua, posiblemente se encuentran asociados con partículas suspendidas del agua, que al igual que el As y Cr, tienden a estar menos disponibles a pH alcalinos (Manziona and Merrill 1989).

Al comparar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996 (ECOL, 1997), los metales pesados analizados, no rebasan dichos límites. Asimismo, con respecto a la protección de la vida acuática tampoco se observa que rebasen los límites.

Con respecto al agua para uso de riego, las concentraciones de As y los metales determinados, están por debajo de los límites máximos permisibles, por lo que el agua puede ser utilizada sin riesgo en el riego agrícola de acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996 (ECOL, 1997). Mientras que las concentraciones para los otros metales se presentaron por debajo del límite máximo permisible, para riego, recreación y uso industrial.



Aunque el límite permisible para consumo humano no fue un objetivo fundamental de la investigación, es importante mencionarlo y tomar en cuenta los valores encontrados para los metales que están al límite de la concentración permitida, tanto para investigaciones futuras, como para la toma de decisiones en cuanto al uso que tenga el agua de los cuerpos de agua de la laguna “a y b” del caso de estudio.

La atribución de las concentraciones de metales pesados antes mencionadas, se le confiere a la actividad agrícola y a las descargas residuales y urbanas. En el presente estudio, las concentraciones promedio de los metales respectivos fueron 0.075 mg/ L, dichos valores constatan que el agua es recomendable para uso agrícola.

### **Calidad del agua**

La calidad del agua y el grado de alteración o contaminación de la misma, se define como el cambio o modificación físico-química y biológica del recurso hídrico inducido por actividades socioeconómicas y naturales. La intensidad de dichas actividades está determinada por las características propias de estas dinámicas, es por tanto que se hace necesario el conocimiento de los procesos responsables del deterioro del recurso, para determinar la medida en que estos influyen en la calidad del sistema evaluado (Cortolima, 2000).

Por tal motivo, estudiar los ecosistemas acuáticos dulces es de vital importancia, como recurso natural vital para el desarrollo y mantenimiento de todas las formas de vida. Una de las metodologías usadas en la evaluación de la calidad de agua tradicional se basa en los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, pues estos inciden en la productividad, flujo de energía dentro del ecosistema y ciclos de vida de los organismos (Roldán, 2003).

La pérdida de la calidad de las aguas superficiales proviene principalmente de los afluentes de actividades industriales, aguas negras domésticas y la escorrentía por el



uso del suelo además de la deposición de los residuos sólidos. Esta utilización del medio hídrico como receptor de descargas contaminantes (residuos, emisiones y vertimientos) provoca en los ecosistemas acuáticos modificaciones físico- químicas que repercuten en la composición y distribución de las comunidades biológicas, así como en el deterioro o limitación de los usos de agua, produciéndose pérdida de la calidad del agua y en muchas ocasiones imposibilidad de su suministro para diferentes usos, entre ellos el consumo humano (Chaves, 1997).

Lo referido por los autores señala la importancia del uso de técnicas y métodos de análisis que permitan determinar la calidad del agua utilizada para consumo humano y agrario, así como para definir el estado ecológico del ecosistema para este estudio de caso referido al lago de San Miguel Xico en Valle de Chalco.

#### 6.1.1 Estrategias de mitigación

Las estrategias son diversas y en un mundo en constante evolución permea las nuevas tecnologías que hacen posible controlar, mitigar o revertir los daños ocasionados en los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos. Una de ellas es la restauración, la rehabilitación, el saneamiento y el reemplazo (Martínez, 1996; Meffe y Carroll, 1994).

Toda estrategia varía de acuerdo con el grado de recuperación de los sistemas perturbados, puede ser por un lado en la búsqueda de recuperación de un hábitat o componente biológico semejante o lo más cercano a lo natural, o bien, aplicar las estrategias convenientes que frenen la modificación o daño de sus componentes y atributos del entorno. Cuando se realizan investigaciones sobre restauración es importante señalar fases que pueden lograrse siguiendo lo establecido por Márquez-Huitzil (2005):

- ✓ Armonizar con la causa de la afectación
- ✓ Mitigar los efectos producidos por los mismos.



- ✓ Inducir al sistema a condiciones parecidas a las que presentó en algún estadio sucesional previo.
- ✓ Reincorporar al sistema elementos bióticos, abióticos originales.
- ✓ Monitorear y realizar cambios de forma reiterada, dirigiendo el proceso de forma conveniente con el propósito de ésta.

### 6.1.2 Funcionamiento del acuífero

El agua subterránea fluye de las sierras que limita el valle de México, hacia el centro de los mismos. Existen tres conos piezométricos formados por la extracción de agua subterránea hacia donde se dirige el flujo subterráneo (CONAGUA, 2014). El primer cono se encuentra alrededor de Azcapotzalco, el segundo en el área de Tlalpan-Xotepingo, y el tercero en el valle de Chalco. El esquema de flujo subterráneo presenta curvas equipotenciales concéntricas.

Los valores de elevación del nivel estático más altos (2260 msnm), se ubican hacia las sierras. Hacia la parte baja de la ciudad se forman conos piezométricos mencionados. Uno de ellos en la zona norte, Correspondientes a Azcapotzalco (2180 y 2185 msnm). El segundo cono piezométrico abarca prácticamente toda la porción central y sur de la ciudad de México (2180 y 2185 msnm) y tercer cono se forma en el valle de Chalco (2190 y 2195 msnm).

### 6.1.3 Proceso de ajuste de calidad del agua

Cuando se considera el tratamiento de una nueva fuente de abastecimiento de agua, se cuenta con un número de operaciones en función del sistema, una de las tareas más importantes es la selección de tratamientos viables del ecosistema, de tal manera que los mayores esfuerzos se centraron en identificar el proceso más apropiado para la situación dada. Una opción sistemática para hacerlo fue el desarrollo de una tabla matriz en el cual se enlistan los procesos de tratamiento considerados sobre un eje al



igual que los factores relativos. Cada proceso observa un nivel para cada uno de los factores en lista de prioridades, como se mencionó en los requerimientos del diseño.

#### 6.1.4 Guía para la selección de procesos de tratamiento

La selección de un proceso de tratamiento del agua es una tarea compleja. Las circunstancias suelen ser bastante diferentes para cada instalación. La elección de uno o más procesos está influenciada por la necesidad de cumplir con los objetivos de calidad de la normatividad vigente, el deseo de la instalación y de los usuarios de cumplir con la calidad del agua, como los aspectos de estética, y la necesidad de proporcionar un servicio al más bajo costo posible.

La restauración de los sistemas lagunares para el caso de estudio está en función de la necesidad real del uso de agua, sin embargo, un saneamiento del sistema hídrico puede aportar grandes ventajas para los locatarios en función del aprovechamiento directo del recurso como tomas de agua para satisfacer las necesidades primarias con el líquido, sobre todo tomando en cuenta el caudal de 1.67 litros por segundo que puede alimentar a un número importante de la población. Asimismo, los datos obtenidos reflejan:

- ✓ El pH y la conductividad eléctrica del agua analizada, no limitan su uso para riego agrícola o uso urbano, por lo que se recomienda su empleo.
- ✓ El contenido de metales pesados para el área estudiada se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles por la NOM-001-ECOL-1996. Con base en los resultados se recomienda su uso sin restricciones para riego agrícola y uso urbano.
- ✓ Los resultados de DBO y DQO, aunque rebasan la norma NOM-127-SSA1-1994, es aceptable para los criterios de CONAGUA, en una clasificación aceptable con indicio de contaminación, aguas superficiales con capacidad de autodepuración.



- ✓ La presencia de coliformes y huevos de helminto, indican contaminación de tipo biológico, aunque dentro de la norma, sin embargo, es susceptible a trabajar para su control y posible remoción.
- ✓ Si bien, este tipo de acuíferos presentan de forma histórica contenido de contaminantes emergentes, como fármacos, plastificantes, residuos, pilas y metales.

#### 6.1.5 Estadísticas que afectan a la población

La región enfrenta varios desafíos, particularmente en lo que se refiere a la competitividad de las regiones del Estado de México con el Distrito Federal, su identidad cultural y sobrevivencia social a partir de sus diversas potencialidades. Por tanto, la planeación regional es un proceso mucho más complejo que requiere la concurrencia de diversos aspectos más allá de los estrictamente económicos.

Será necesario identificar los indicadores más representativos para elaborar diagnósticos regionales, para ubicar en el desarrollo las potencialidades de los territorios consideradas, basadas en los resultados que se presentan en términos de la situación dinámica de peligro y riesgo por inundaciones.

El desarrollo de vida acuática y flora nativas reconoce las condiciones naturales, por lo que la adaptación de la vida silvestre no será problema a excepción de la calidad química y biológica del agua. El agua residual, no tratada, de numerosas poblaciones y de núcleos industriales converge a través de los canales hacia el nuevo lago de Chalco. En otros casos, la rotura de estos canales puede ocasionar problemas serios de salud, como el de junio de 2010, donde el canal de La Compañía causó serios problemas de salud en la población afectada.

La pérdida de terreno agrícola, hace también necesario recuperar la posibilidad de cultivar alimentos en la zona y de dar trabajo temporal o permanente a la población



rural. Una opción a evaluar, es la de aprovechar el crecimiento del nuevo lago de Chalco con el desarrollo de áreas de cultivo tipo chinampa. Las chinampas representan una opción viable ante el incremento dinámico de áreas lacustres, y cuya eficacia ha sido comprobada desde tiempo de los aztecas. Su desarrollo debe ser parte del modelo integral de la región.

Por encima de la diversidad y riqueza biótica del entorno natural, la problemática ambiental se reduce en gran medida a la problemática en la desaparición de manantiales y de corrientes superficiales; la reducción del acuífero; los procesos de desecación y compactación de arcillas, los hundimientos diferenciales del terreno, cambio en las dinámicas hidráulicas así como la desaparición de canales y servicios ambientales como las ecotecnias y chinampas, que se manifiesta inundaciones, así como riesgos y peligros para la población asentada.

El agua que se encuentra en lago Xico debe someterse a tratamiento para poder ser utilizada para una determinada actividad, y así cumplir con la normatividad vigente, uso en servicios y recreativos, uso para vida acuática, uso en riego agrícola y uso para consumo humano.

El diseño desde la prospectiva para la planeación urbana en su mejoramiento a nivel municipal con respecto al uso de suelo y a la protección de los recursos como el agua y para dar sustentabilidad en este rubro como lo señala la Conagua (2011), que en la década pasada, la problemática del agua fue calificada como un asunto de seguridad nacional y que el gobierno federal ocupara la responsabilidad de formular la Agenda del Agua 2030.

La cual viabilizará robustecer una política de sustentabilidad hídrica, que se considera como prioritaria para el país, ante tal discurso, este proyecto fortalecerá la documentación que se requiere para la planeación urbana en el diseño propio del hábitat construido y el ambiente natural.





Toda vez, que el diseño de esta propuesta está orientado en pro de alimentar con datos de impacto ambiental hacia el diseño y planeación de ciudades, si bien, el diseño, está referido a la aportación de datos que sirva para la toma de decisiones en el diseño y planeación urbana, como es la infraestructura y equipamiento dentro de los ámbitos de la bio restauración en colectores, canales o embalses como es Xico desde la mirada del ambiente construido.

Una de las fuerzas motrices que desempeña un papel fundamental es la ciencia y la tecnología definida esta fuerza como aquella capaz de crear o prevenir amenazas ambientales con efectos en la población, en este sentido, se retoma la tecnología más idónea y en específico que ayude al mejoramiento de los cuerpos de agua para este caso de estudio de San Miguel Xico, en Valle de Chalco.

El desarrollo de una propuesta tiene que ver con múltiples factores, entre ellos de existir la viabilidad y factibilidad para su implementación, así como de tener un gran potencial para solucionar la problemática ambiental del cuerpo de agua, que como se mencionó en el capítulo anterior, el sistema hídrico presenta índices de contaminación que pueden resarcirse con una tecnología adecuada.

En la actualidad se conocen diversas técnicas que ayudan al mejoramiento de ecosistemas terrestres y acuáticos, una de ellas, que en un primer momento fue seleccionada como una alternativa que atenuara los índices de contaminación encontrados fue resolverlo a través de un tren de tratamiento de aguas residuales.

## **6.2 Solución integral**

### **6.2.1 Fases en la construcción de humedales híbridos**

Para la construcción del sistema de tratamiento a través de humedal artificial de flujo sub superficial híbrido en el área señalada como laguna “b” en San Miguel Xico, se contemplan cuatro fases:



**A. Medición, delimitación y adecuación del sitio de construcción.**

- ✓ Colocación costalera entre las lagunas “a” y “b”
- ✓ Achique y secado de la laguna “b” donde se ubicará el STHA.
- ✓ Dragado y retiro de lodos y sedimentos de la zona de construcción.
- ✓ Preparación del terreno para la construcción, incluye compactación y nivelación.

**B. Construcción de infraestructura externa:**

- ✓ Construcción de cerco perimetral y canal para recolección de agua pluvial.
- ✓ Construcción de muro gavión.
- ✓ Construcción de las celdas depuradoras del HAFSS.
- ✓ Construcción de pozo de abastecimiento o cárcamo
- ✓ Construcción de trampa para grasas
- ✓ Construcción de desarenador
- ✓ Construcción de tanque sedimentador.
- ✓ Construcción del sistema de canales de conducción.
- ✓ Construcción de terraplenes compactados para laguna de maduración

**Materiales de construcción sugeridos durante esta etapa:**

- ✓ Losa de cimentación. Varilla de 3/8” de diámetro, a 15cm. Concreto con resistencia a la compresión ( $f'c$ ) = 250kg/cm con un peralte de 12cm de grosor.
- ✓ Sedimentador. Varilla de 3/8” de diámetro, de 15 x 25cm, cimbra de madera triplay apuntalada cada 40 cm para concreto de  $f'c$  = 250kg/cm; los muros serán de 20 cm de grosor. La pantalla difusora de 10 cm de grosor.
- ✓ Piedra Tezontle para el relleno del piso.
- ✓ Muros del Canal. Varillas de 3/8” de diámetro, de 15 x 25cm para concreto de  $f'c$  = 200 kg/cm
- ✓ Muros divisorios. Tabiques rojos recosidos 15 x 15cm.



- ✓ Pozo de abastecimiento. Tabiques rojos recosidos 15 x 15cm. Tapa de concreto de  $f'c = 200$  kg/cm con parrilla de varilla de 3/8"
- ✓ Trampa para grasas. Tabique rojo recosidos 15 x 15cm. Tapa de concreto de  $f'c = 200$  kg/cm con parrilla de varilla de 3/8"
- ✓ Aplanados. Cemento y Arena 2 cm de espesor.
- ✓ Muro de gavión. Piedra braza a 90° de inclinación las dimensiones recomendadas de 120 x 120 cm. Resguardado por una malla metálica con protección de plástico de 0.5cm de diámetro.
- ✓ Laguna de maduración. Tepetate compactado en forma de trapecio 1.5: 1

#### **C.-Construcción de la infraestructura interna:**

- ✓ Instalación e impermeabilización con geomembrana de las celdas depuradoras del HAFSS.
- ✓ Instalación de las tuberías en STHA.
- ✓ Instalación de las cribas en los canales de conducción.
- ✓ Instalación e impermeabilización con geomembrana en la totalidad de los terraplenes que componen la laguna de maduración.
- ✓ Instalación del sistema de bombeo, así como el sistema de
- ✓ control y eléctrico para el STHA.
- ✓ Pruebas hidráulicas en los canales de conducción.
- ✓ Pruebas hidráulicas en el tanque sedimentador.
- ✓ Pruebas hidráulicas en la tubería de alimentación del HAFSS.
- ✓ Pruebas hidráulicas en la tubería del HAFSS.
- ✓ Lavado tamizado y empacado del material empaque del sistema de filtros y de las celdas depuradoras del HAFSS.

#### **D.-Implementación de la vegetación en el STHA**

- ✓ Introducción y plantación del componente vegetal del HAFS.
- ✓ Estética (color, talla y tamaño).



- ✓ Facilidad de mantenimiento, transporte y compra.

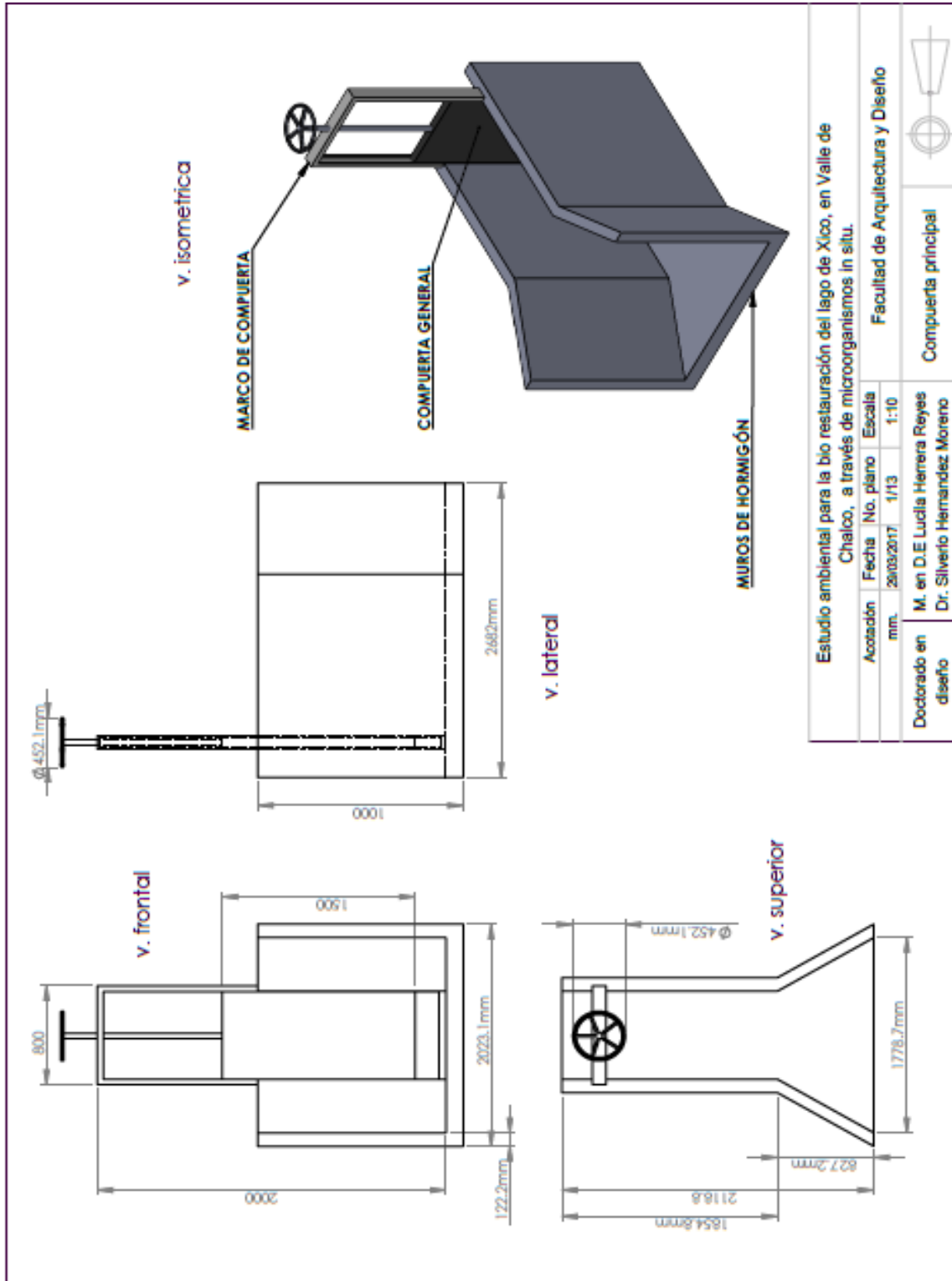
#### **Arreglo del componente vegetal dentro del STHA**

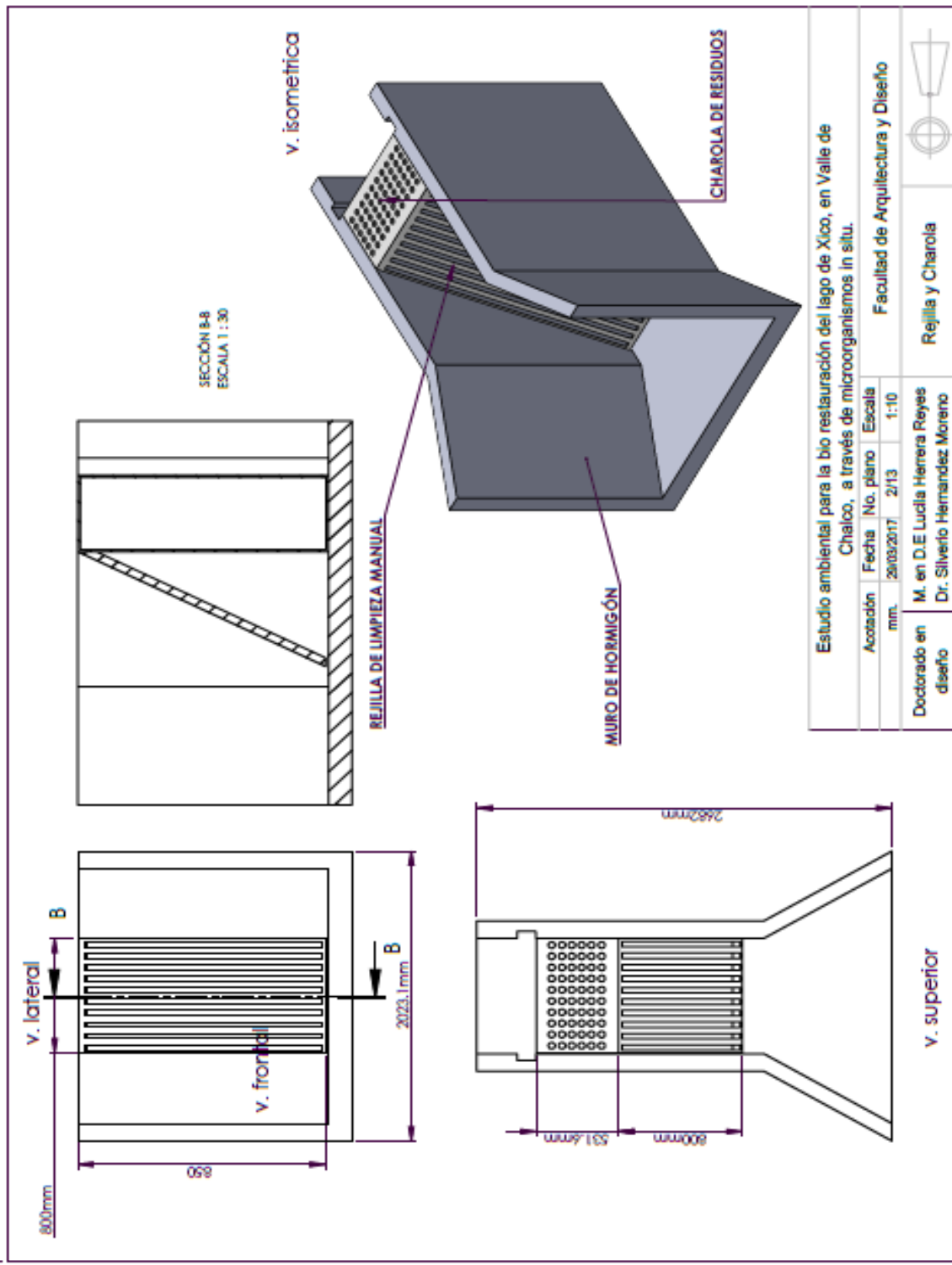
El arreglo obedeció a las siguientes características:

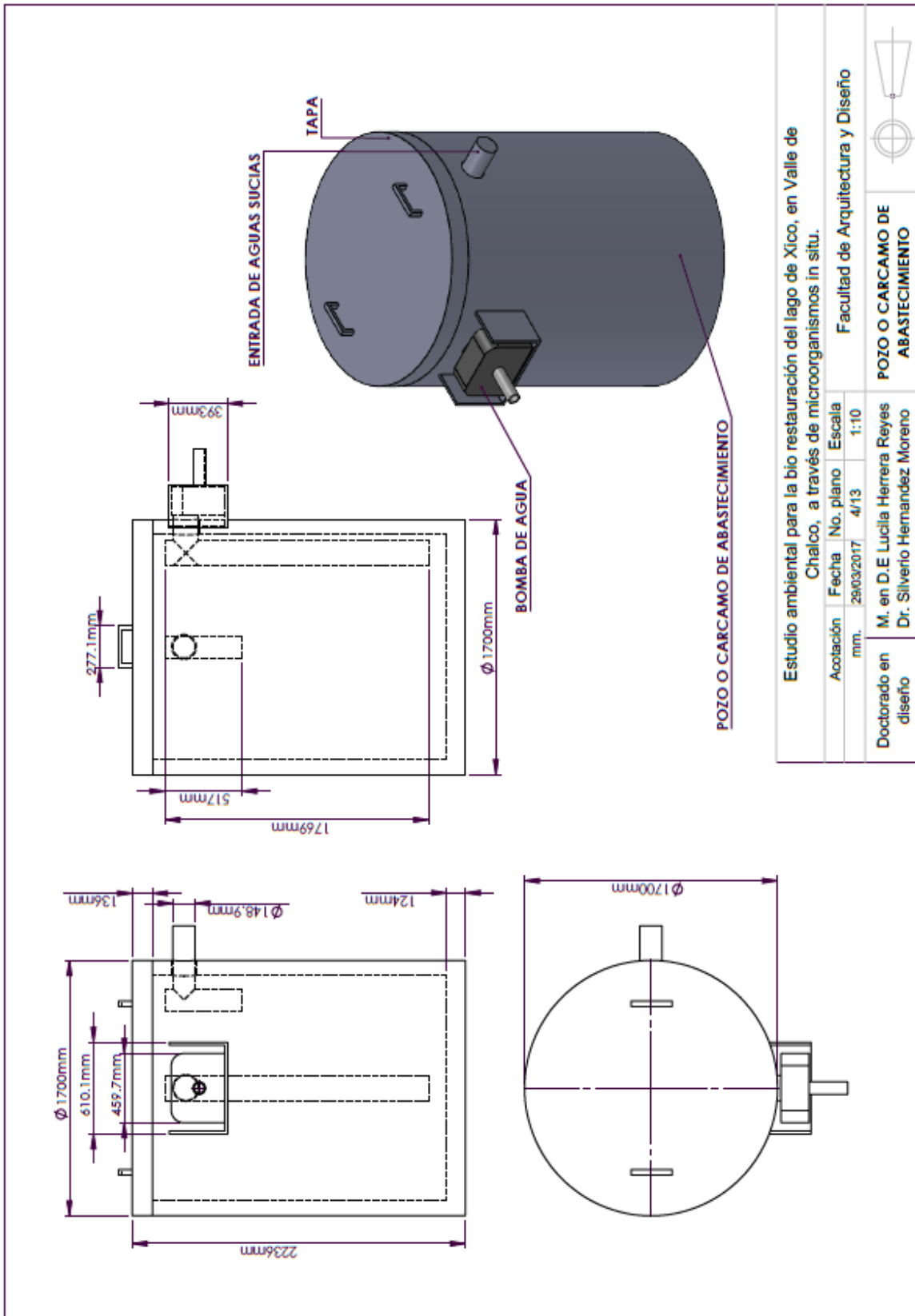
- ✓ Condiciones ambientales (temperatura, nutrimentos disponibles, luz y humedad).
- ✓ Alimentación del sistema (gasto y concentración).
- ✓ Diseño del sistema.
- ✓ Estética.



6.2.2 Planos técnicos







Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Facultad de Arquitectura y Diseño

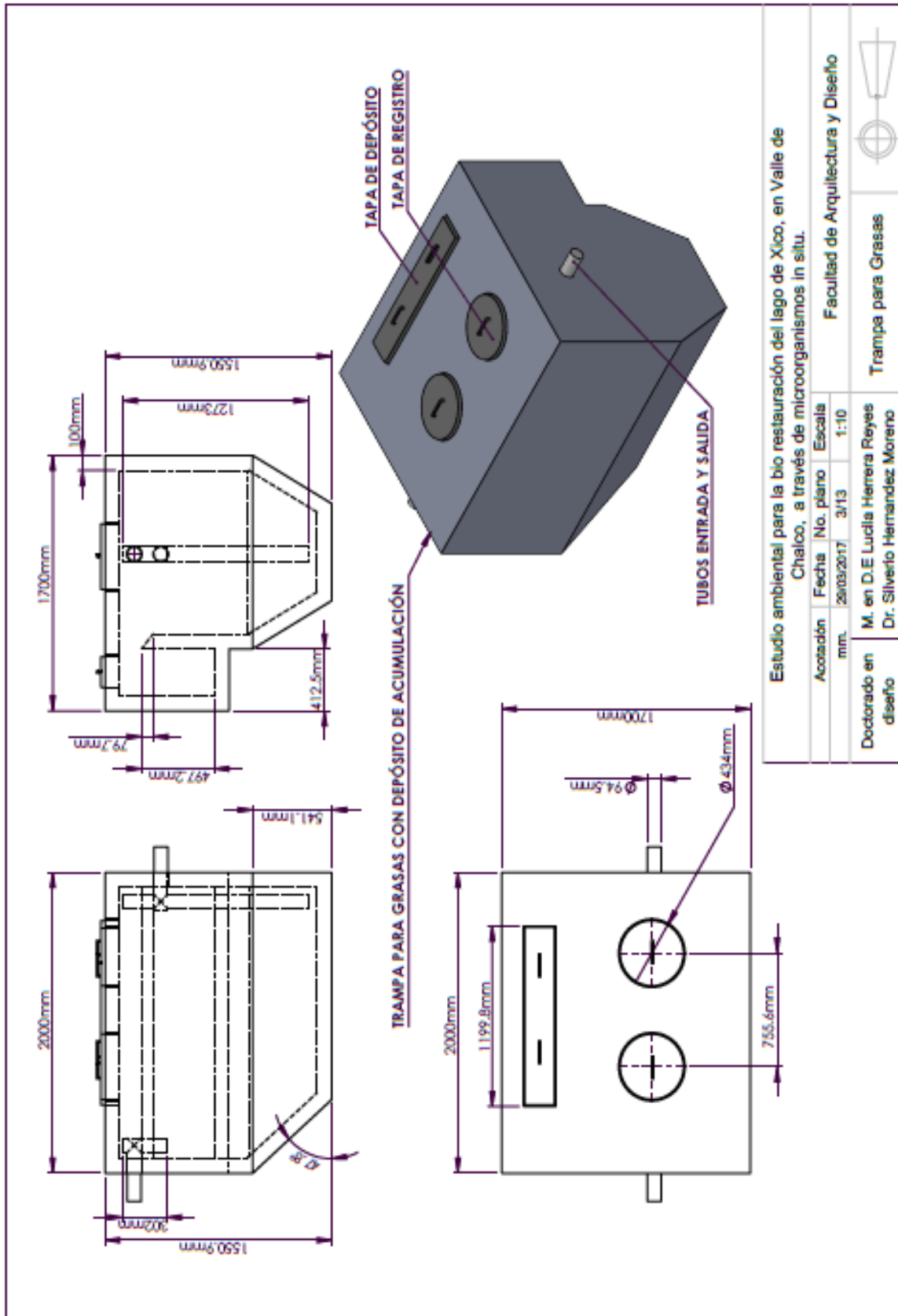
Acctación mm. 29/03/2017 4/13 Escala 1:10



POZO O CARCAMO DE ABASTECIMIENTO

Doctorado en diseño  
M. en D.E Lucila Herrera Reyes  
Dr. Silverio Hernández Moreno



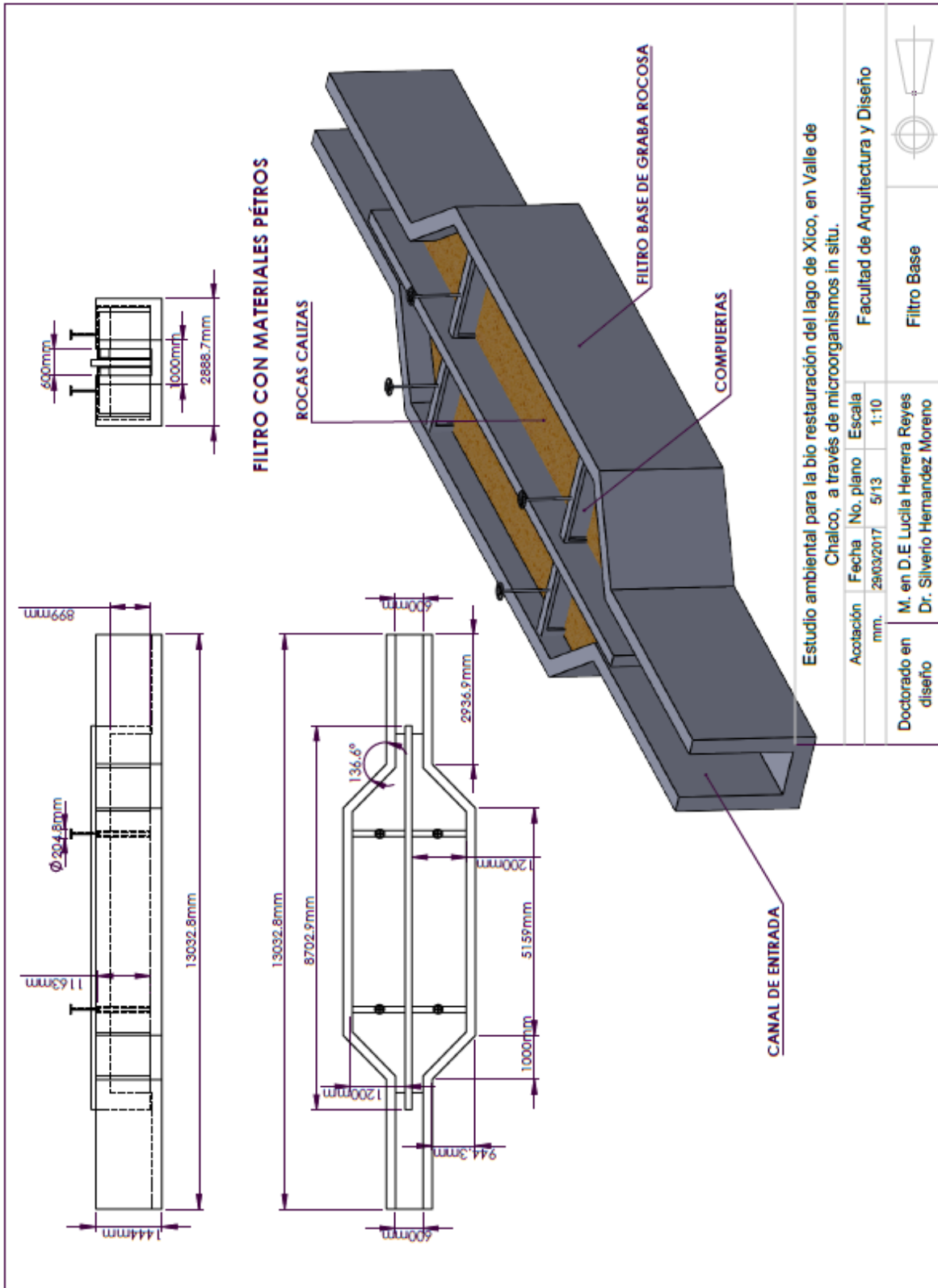


Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Acreditación	Fecha	No. plano	Escala	Facultad de Arquitectura y Diseño
mm.	26/03/2017	3/13	1:10	
Doctorado en diseño	M. en D.E Lucila Herrera Reyes Dr. Silveño Hernández Moreno			Trampa para Grasas







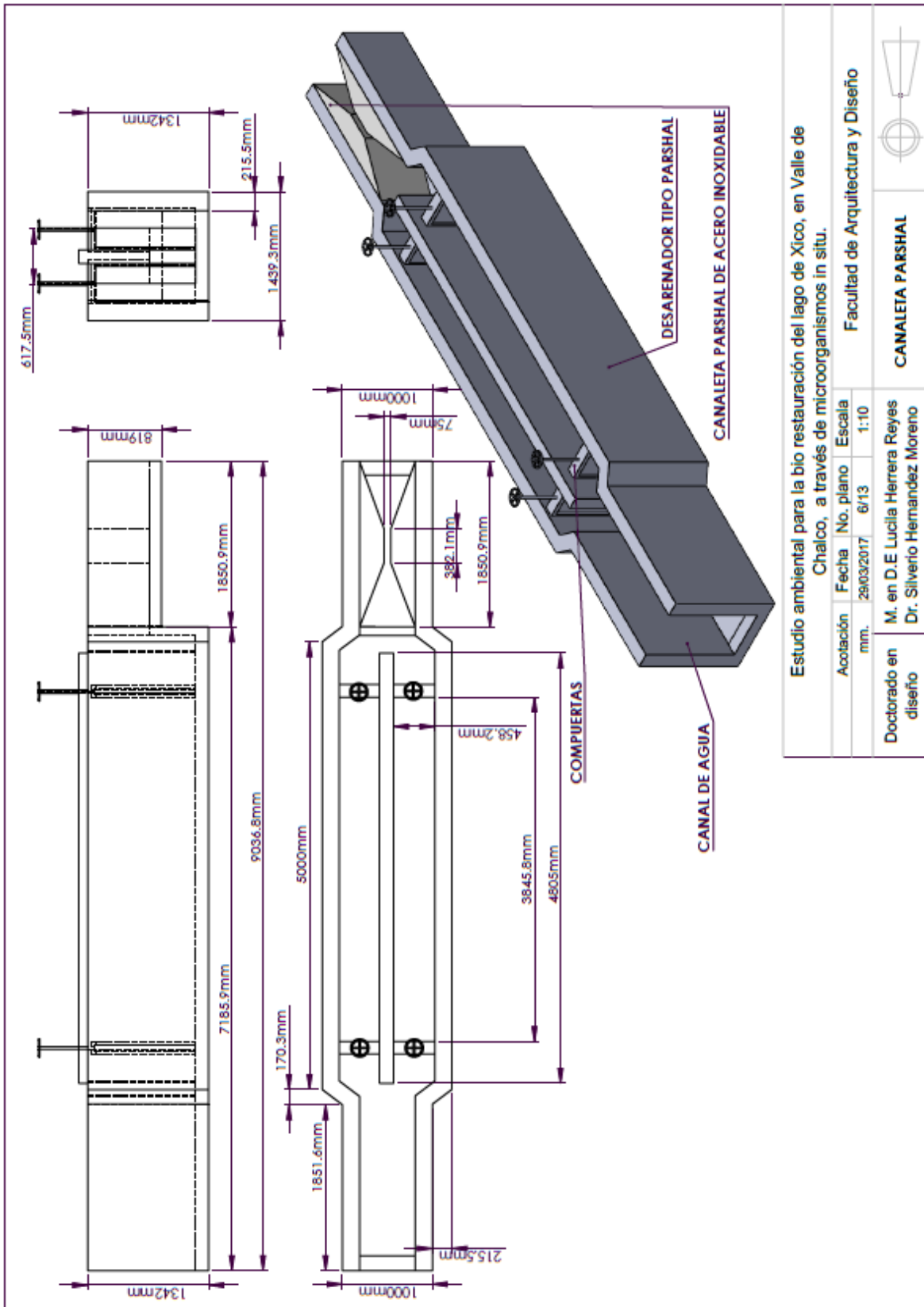
Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Acotación mm. 29/03/2017 5/13 Escala 1:10 Facultad de Arquitectura y Diseño

Doctorado en diseño M. en D. Lucila Herrera Reyes Dr. Silverio Hernandez Moreno

Filtro Base





Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

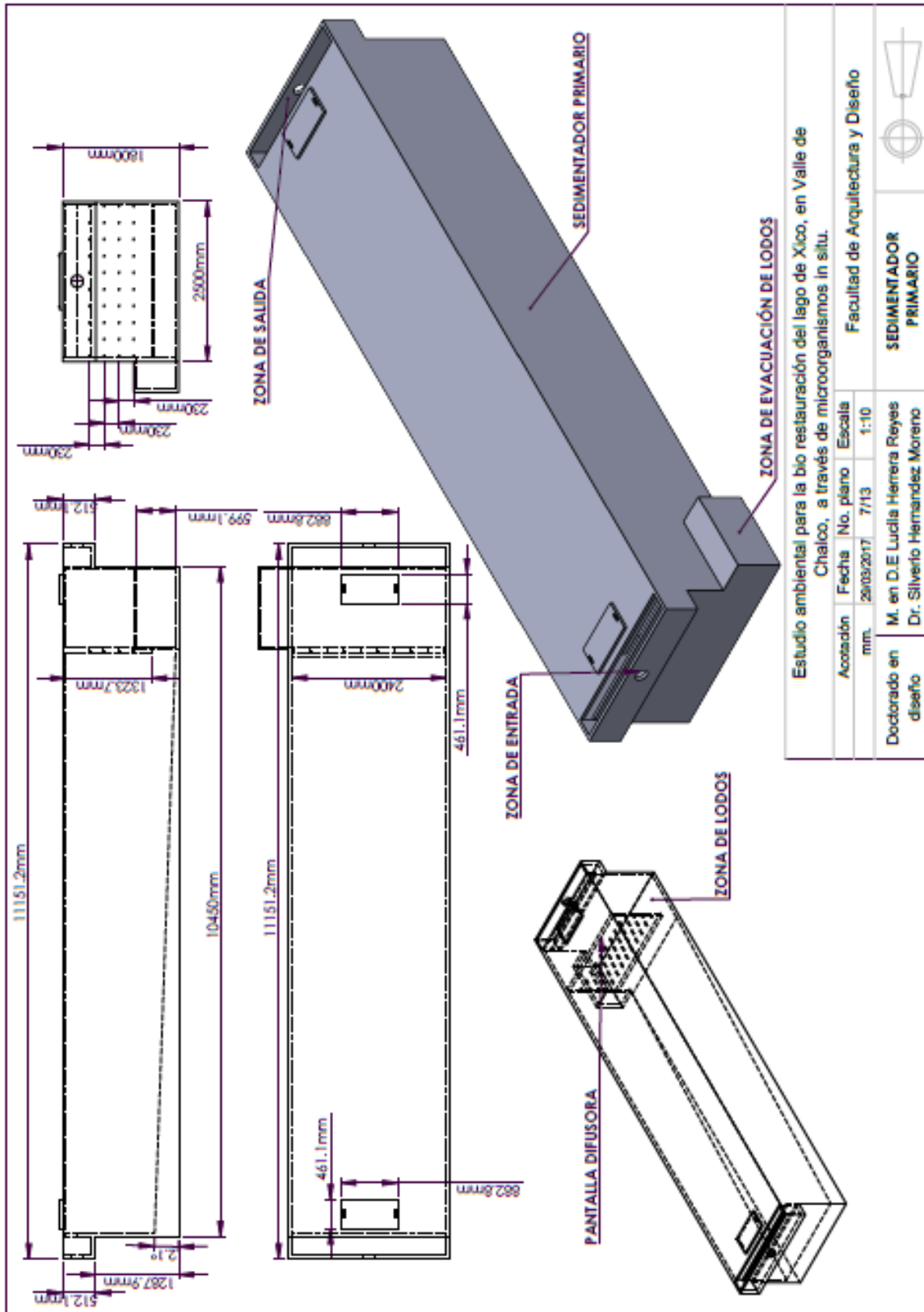
Acotación mm. 29/03/2017 6/13 Escala 1:10 Facultad de Arquitectura y Diseño

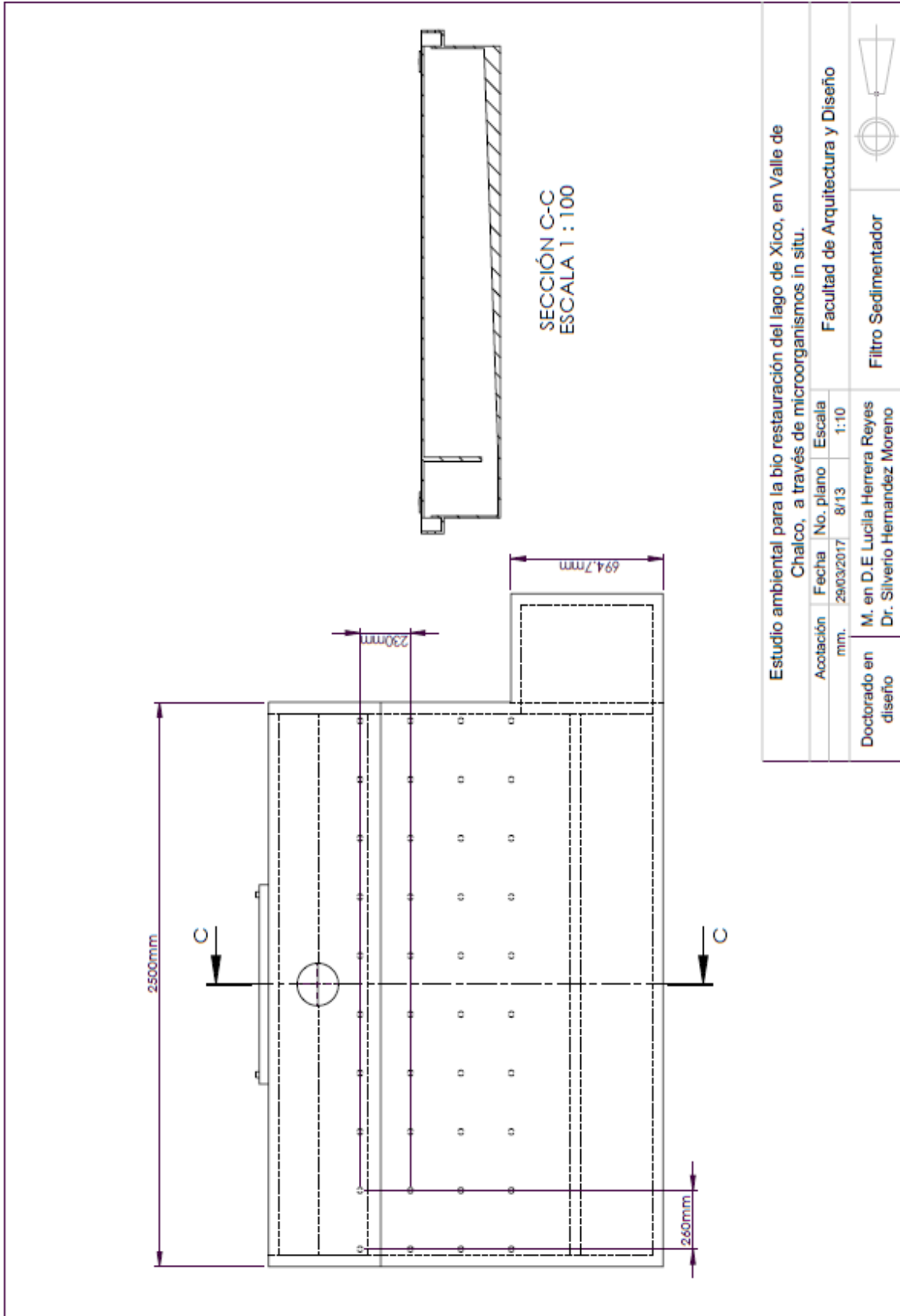


CANALETA PARSHAL

Doctorado en diseño M. en D.E Lucilia Herrera Reyes Dr. Silverio Hernandez Moreno







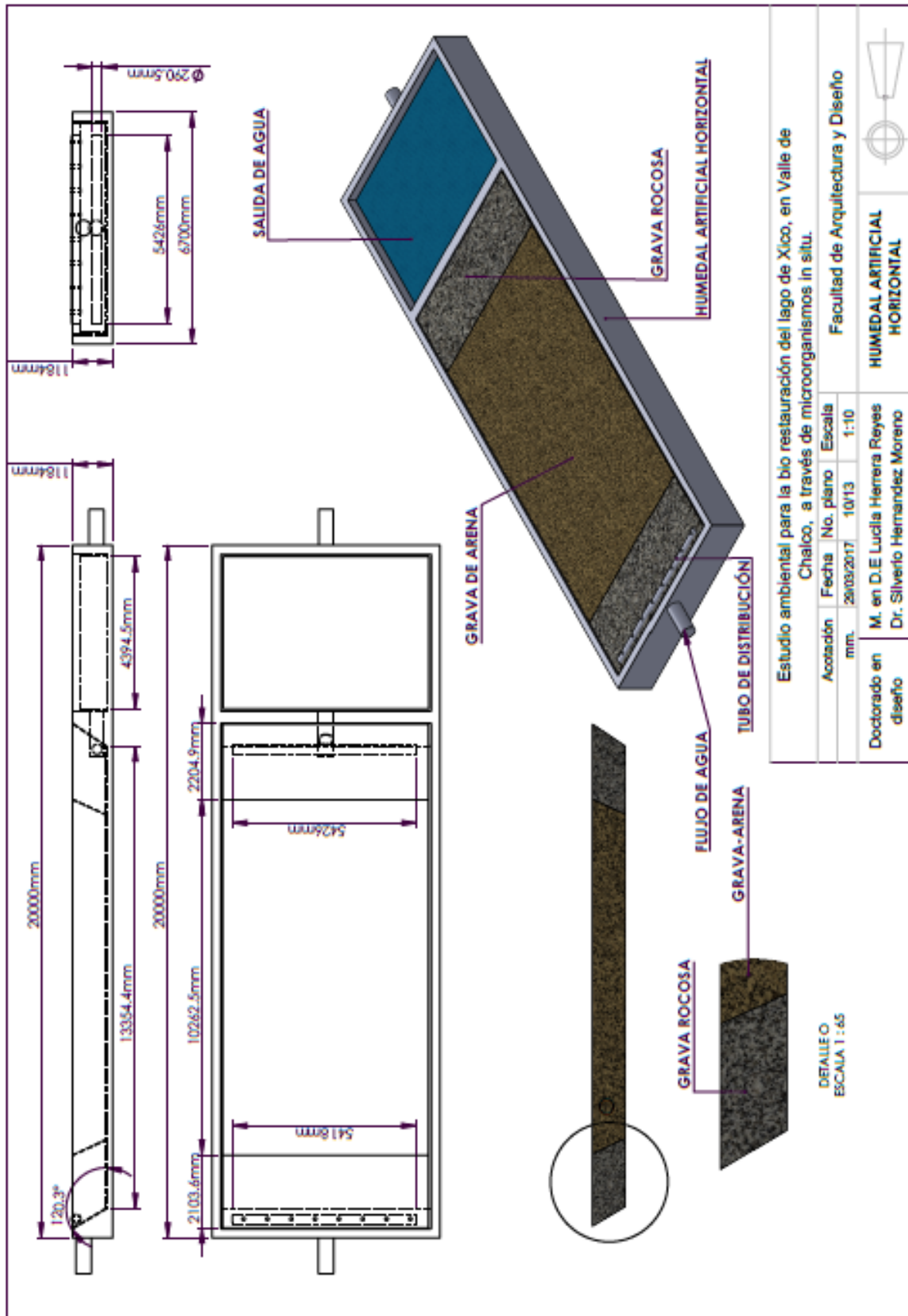
Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Acotación	Fecha	No. plano	Escala
mm.	29/03/2017	8/13	1:10



Facultad de Arquitectura y Diseño  
Filtro Sedimentador

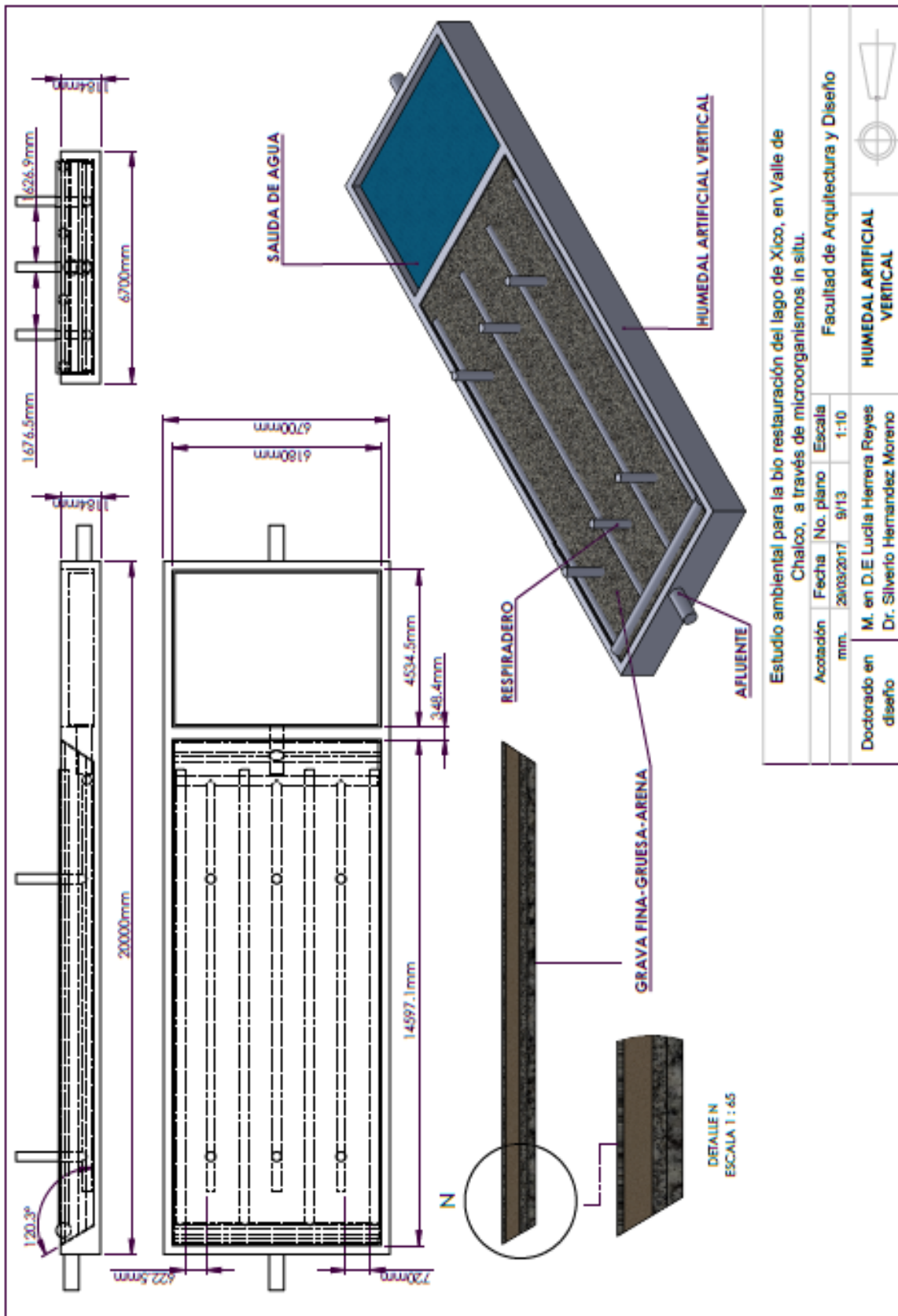
Doctorado en diseño  
M. en D.E Lucila Herrera Reyes  
Dr. Silverio Hernandez Moreno



Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Asociación	Fecha	No. plano	Escala	Facultad de Arquitectura y Diseño
mm.	29/03/2017	10/13	1:10	
Doctorado en diseño	M. en D.E Lucila Herrera Reyes Dr. Silverio Hernandez Moreno			HUMEDAL ARTIFICIAL HORIZONTAL

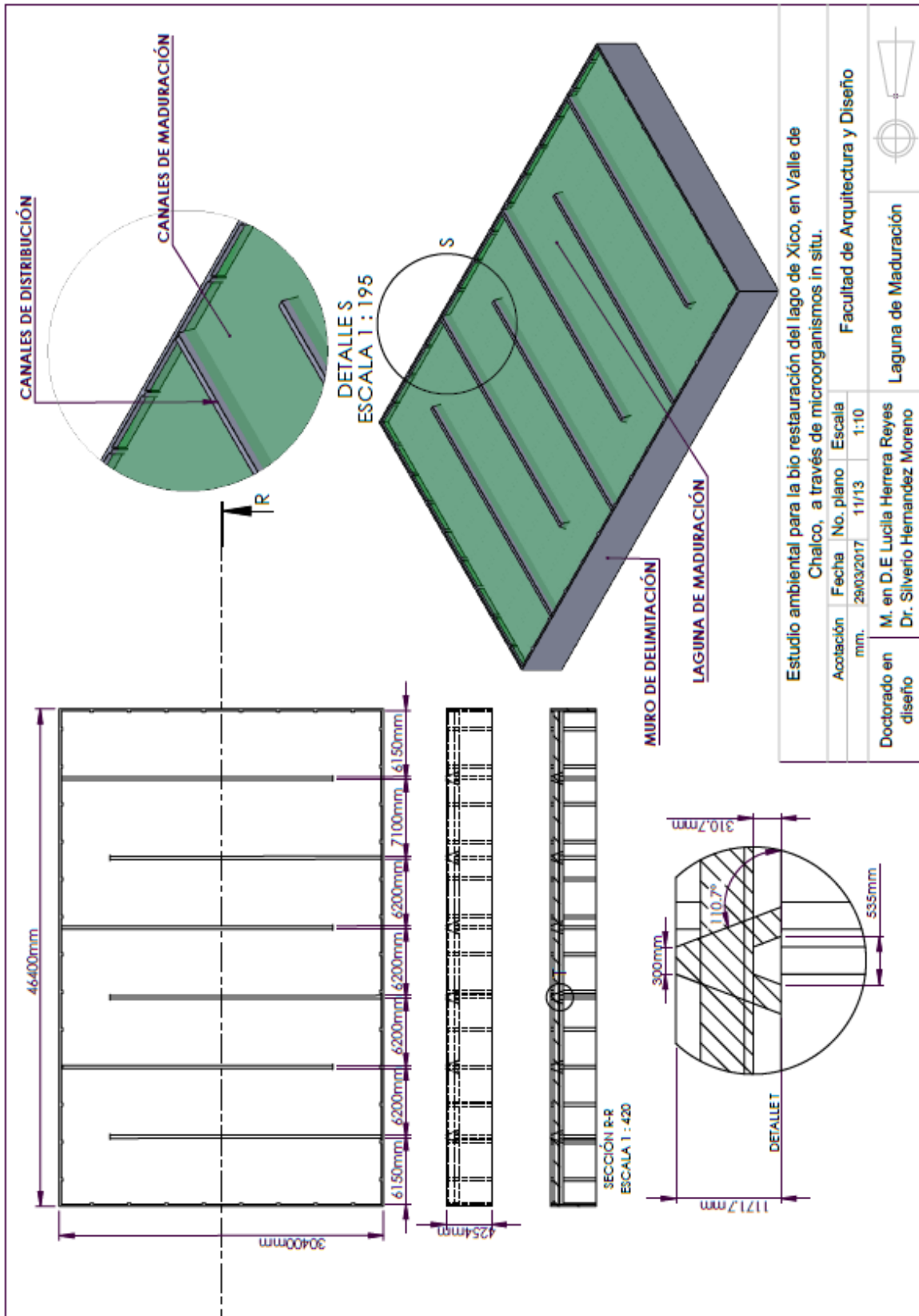




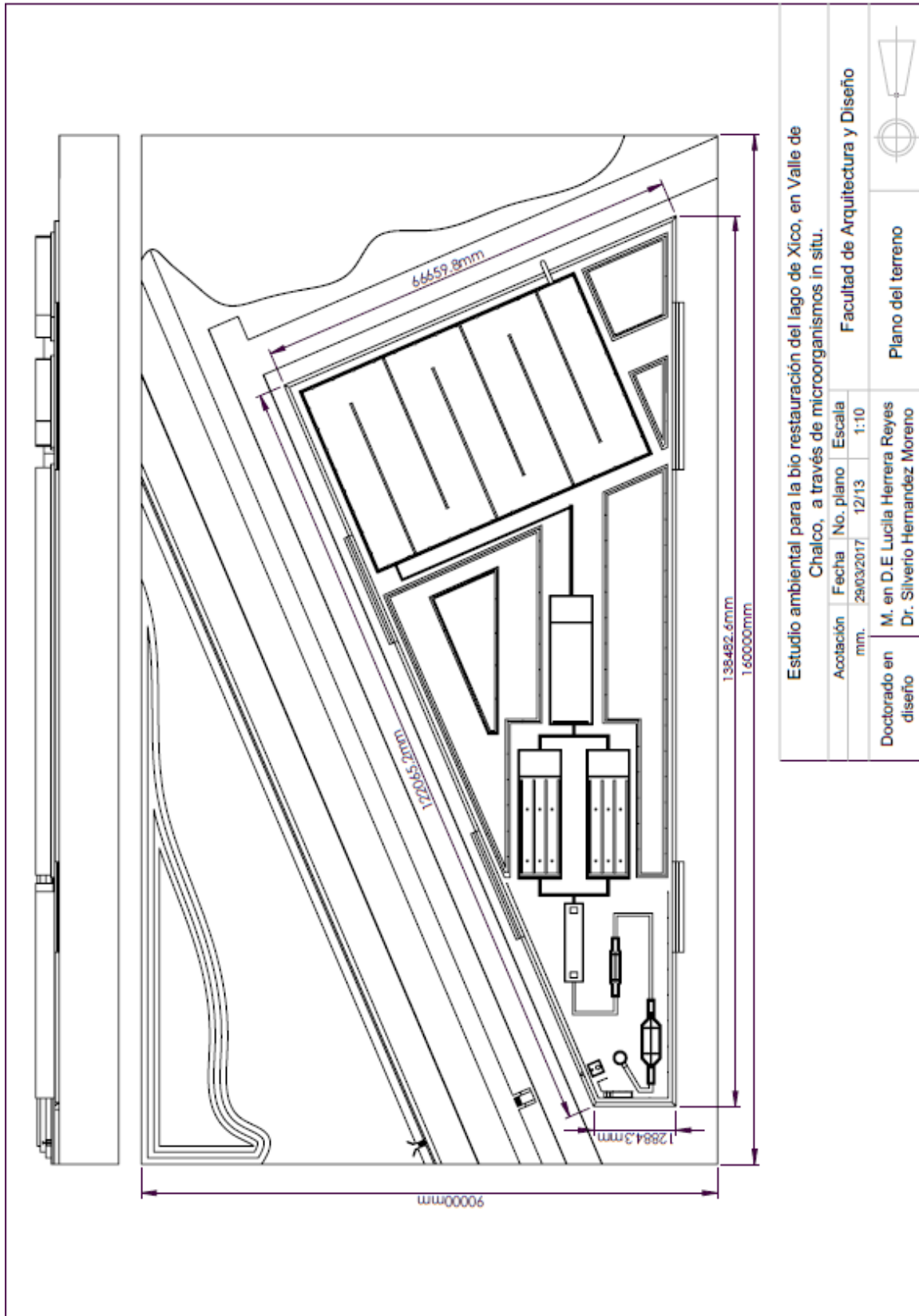
Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Acotación	Fecha	No. plano	Escala	Facultad de Arquitectura y Diseño
mm.	29/03/2017	9/13	1:10	
Doctorado en diseño	M. en D.E Lucila Herrera Reyes Dr. Silverio Hernandez Moreno			HUMEDAL ARTIFICIAL VERTICAL







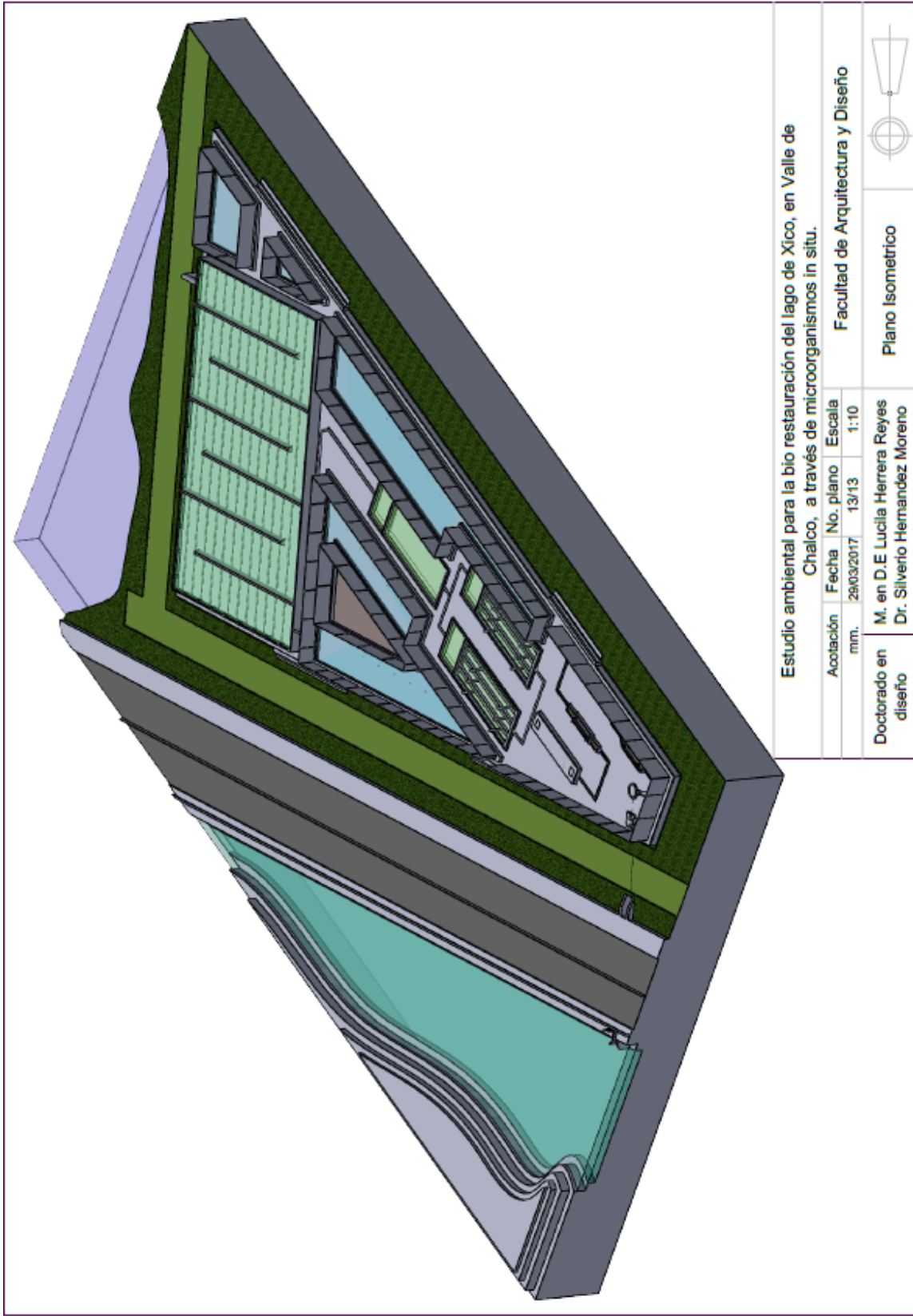


Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Acotación	Fecha	No. plano	Escala	Facultad de Arquitectura y Diseño
mm.	29/03/2017	12/13	1:10	
Doctorado en diseño	M. en D.E Lucila Herrera Reyes Dr. Silverio Hernández Moreno			Plano del terreno







Estudio ambiental para la bio restauración del lago de Xico, en Valle de Chalco, a través de microorganismos in situ.

Facultad de Arquitectura y Diseño

Fecha No. plano Escala  
29/03/2017 13/13 1:10



Plano Isométrico

Doctorado en diseño  
M. en D.E Lucila Herrera Reyes  
Dr. Silverio Hernandez Moreno



### 6.2.3 Diseño virtual

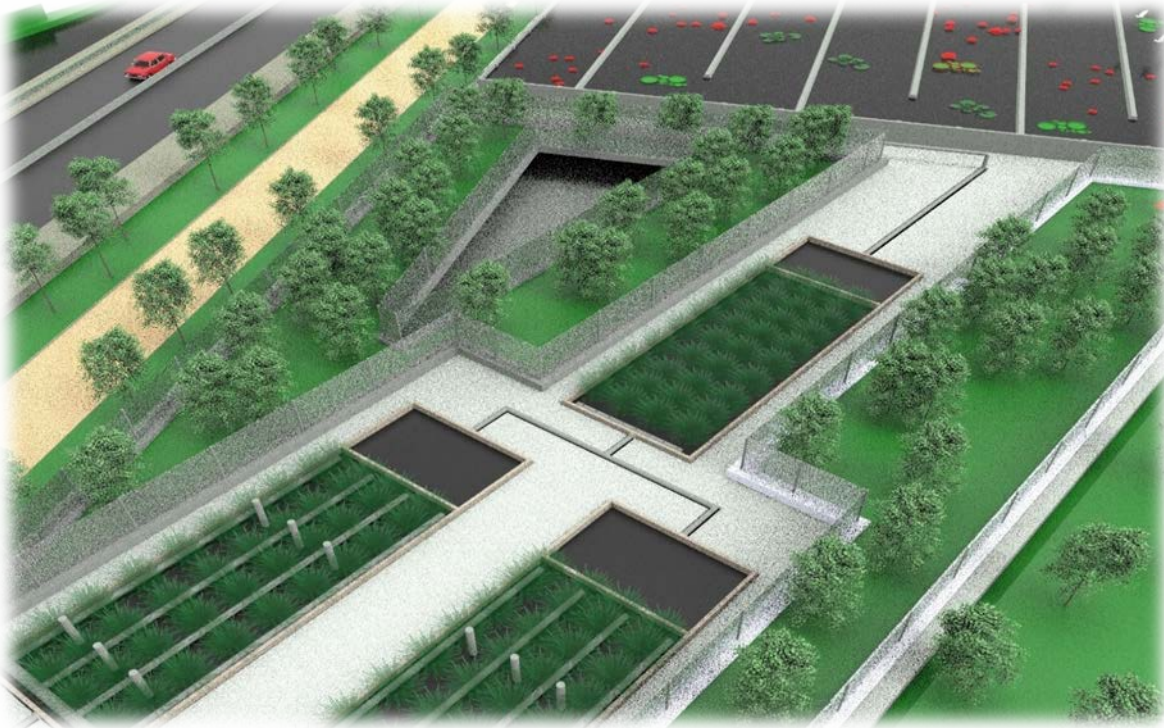


Figura 6.2 Humedales artificiales sub superficiales híbridos



Figura 6.3 Rejilla de desbaste manual





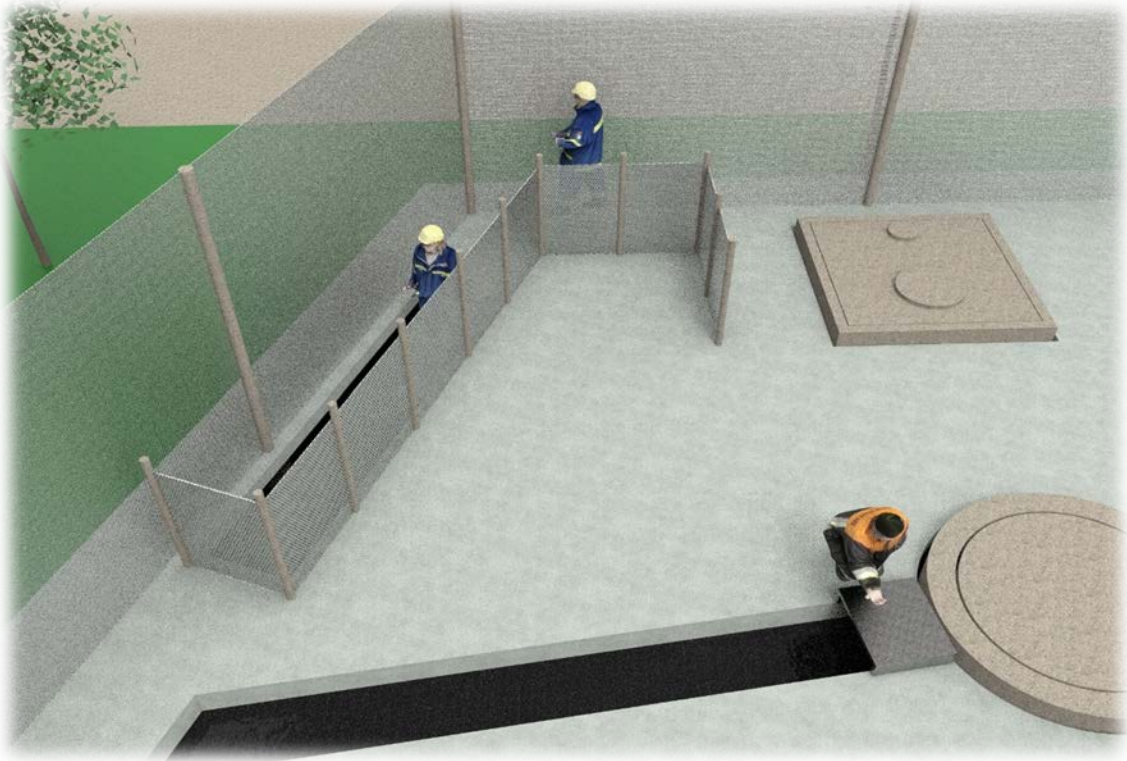


Figura 6.4. Trampa para grasas y pozo de abastecimiento



Figura 6.5. Vertedor tipo *Parshal*







Figura 6.6. Mantenimiento en vertedor tipo *Parshal*



Figura 6.7. Vista del sedimentador







Figura 6.8. Sedimentador y humedales



Figura 6.9. Humedales híbridos





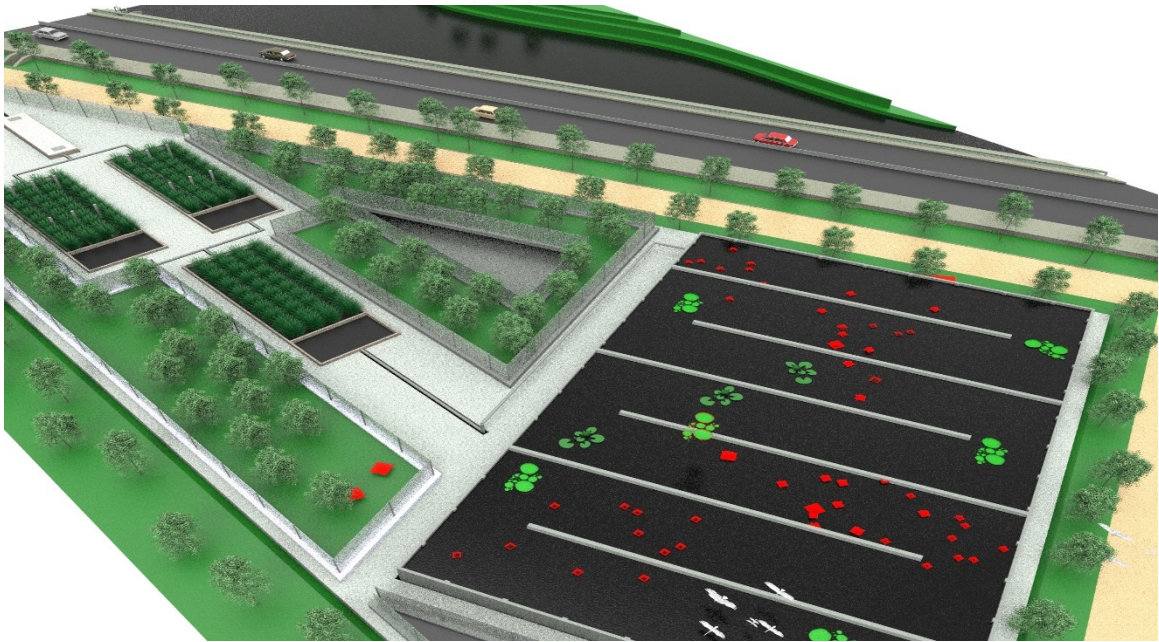


Figura 6.10. Humedales híbridos y laguna de maduración

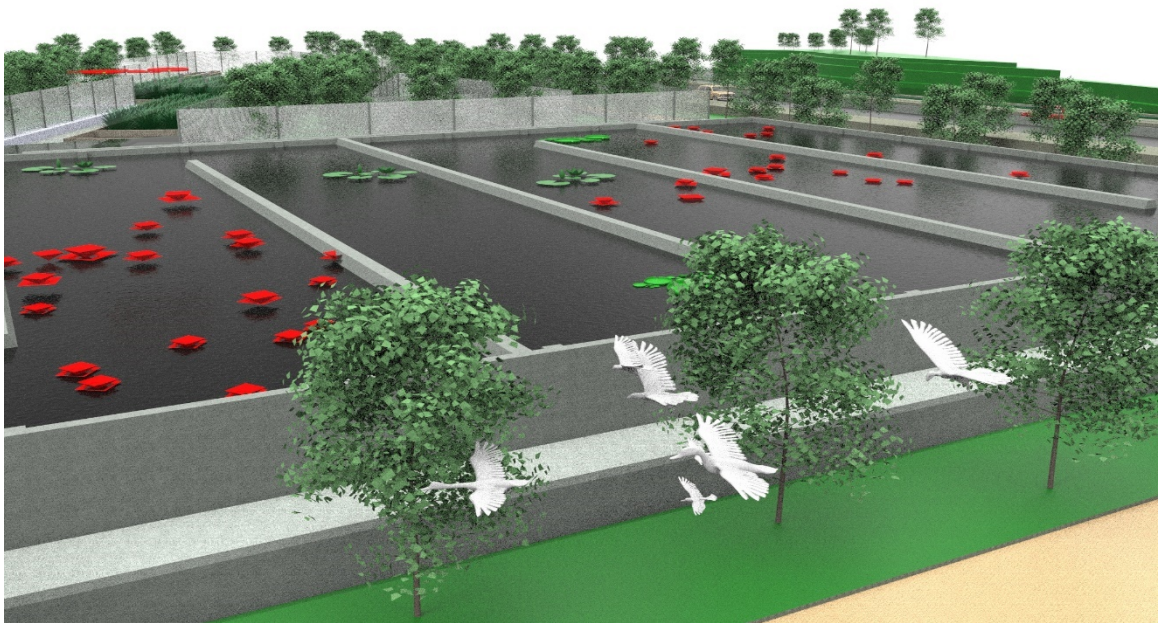


Figura 6.11. Laguna de maduración







Figura 6.12 Mantenimiento en la laguna de maduración

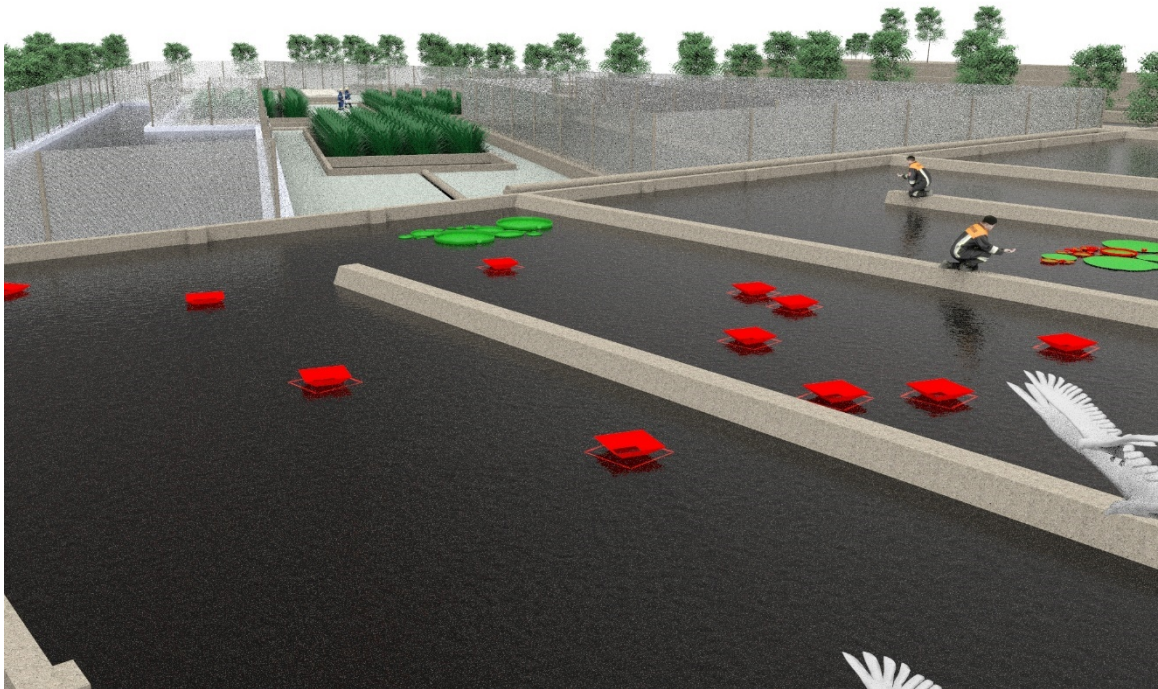


Figura 6.13 Humedales y laguna de maduración





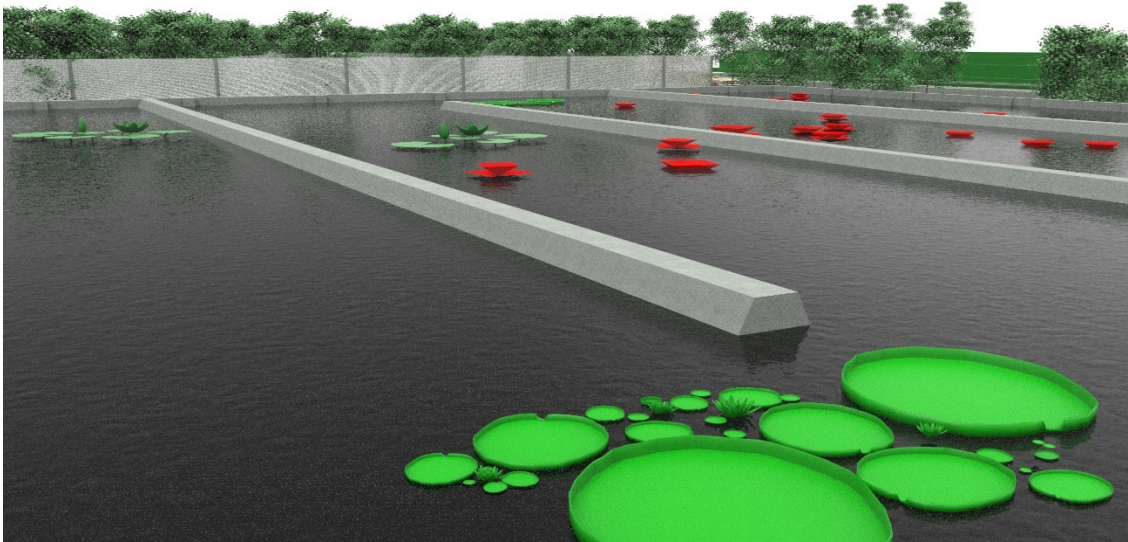


Figura 6.14 Terraplenes de la laguna de maduración

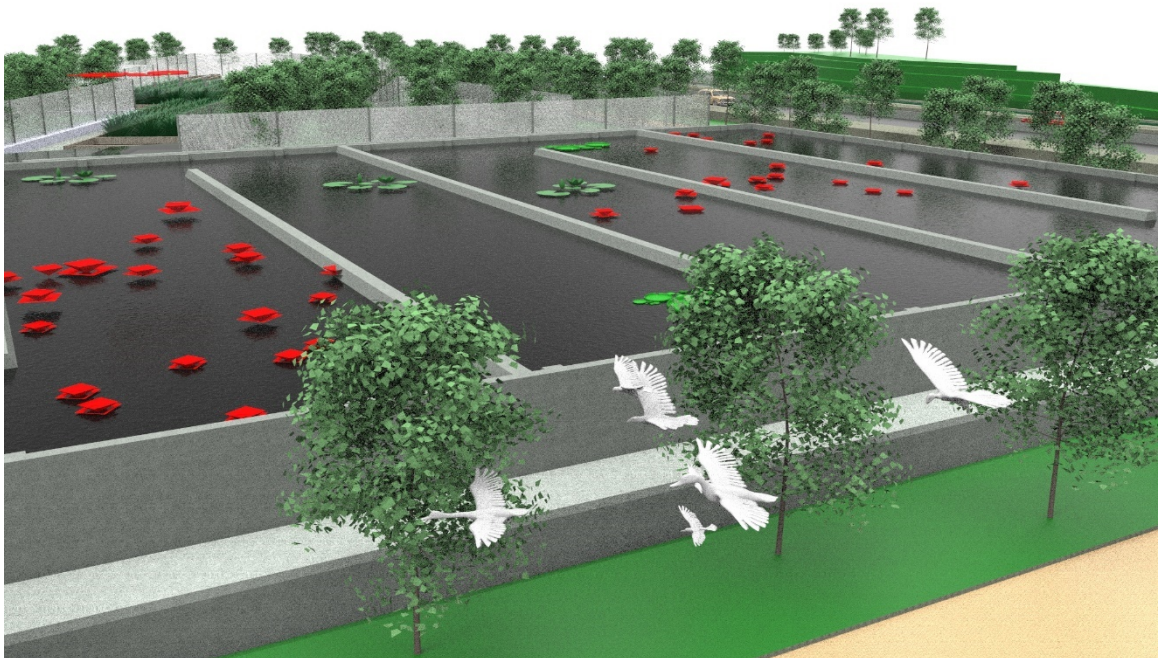


Figura 6.15 Canales de laguna de maduración





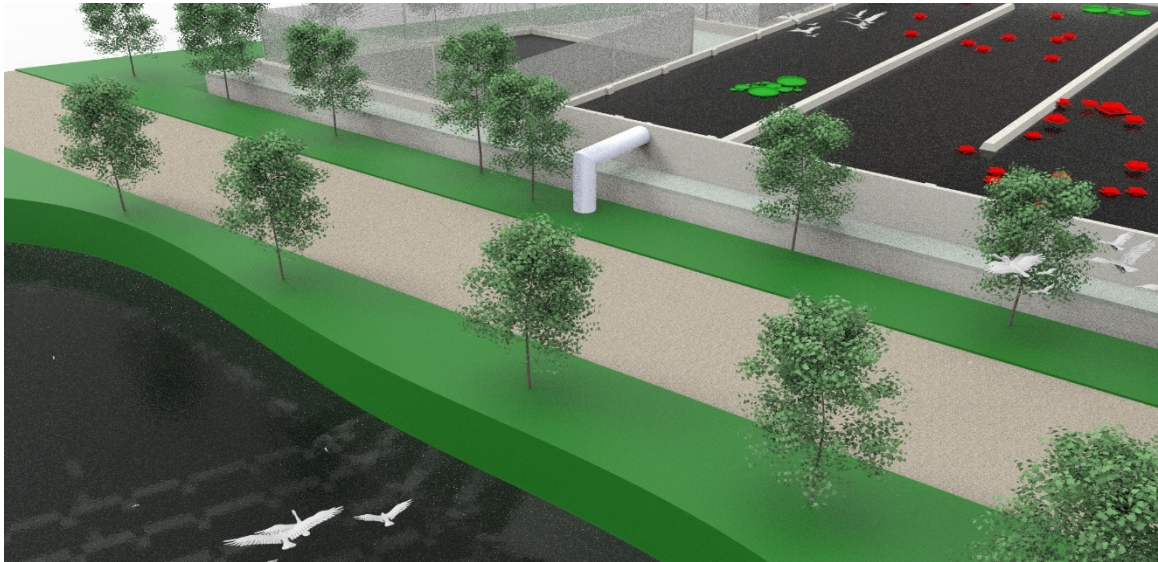


Figura 6.16 Salida de agua

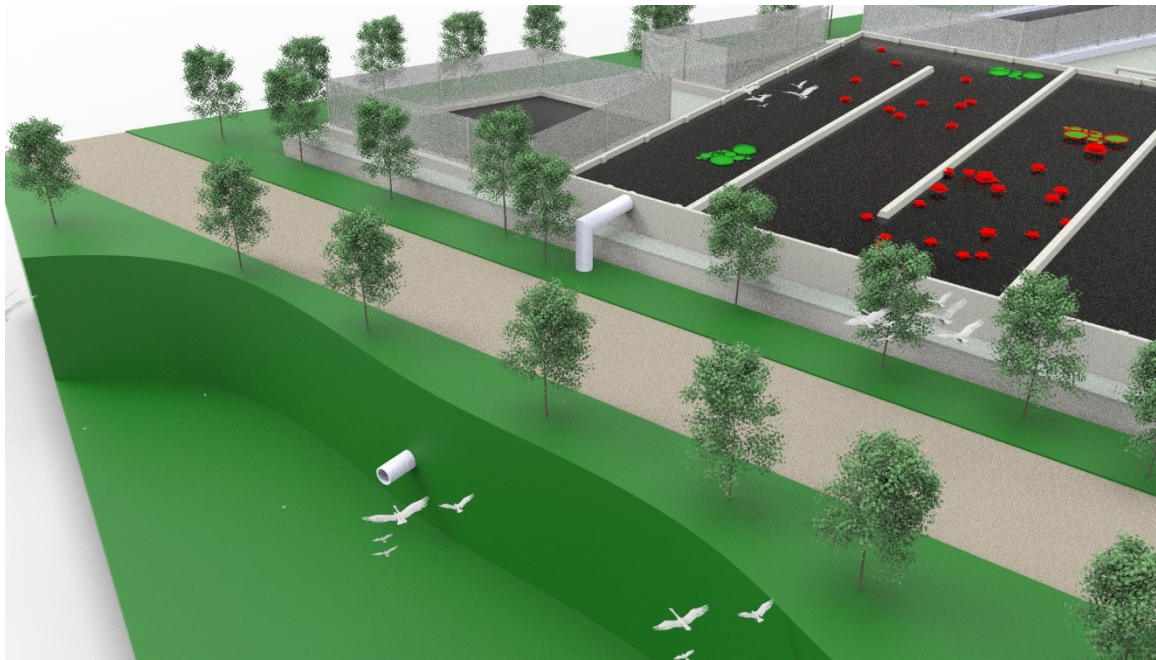


Figura 6.17 Salida de agua hacia la laguna c



### 6.3 Estimación de costos

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	REQUERIMIENTO	COSTO TOTAL
Colocación y habilitación de costalera entre la laguna a y b 2.0 m de ancho por 1.8 m de alto.	\$ 855.42 m. lineal	50 m. lineales	\$ 42,771.00
Achique y secado de la laguna "b" escenario para él HA.	\$ 366.43 por hora (en 1 hora se retiran aproximadamente 30 m. cúbicos).	5600 m. cúbicos (Se requieren 187 horas para drenar el volumen de agua).	\$ 68,522.41
Dragado y retiro de lodos y sedimentos de la zona de construcción, aproximadamente a 5 km de distancia al lugar de retiro.	\$ 349.11 por m. cúbico	2,000 m. cúbicos	\$ 698,220.00
Preparación del terreno para la construcción, incluye compactación y nivelación.	\$ 351.92 por m. cúbico	3700 m. cúbicos	\$ 1,302 104.00
Losa de cimentación. Varilla de 3/8 de diámetro, a 15 cm. Concreto con resistencia a la compresión (fc)= 250 kg/cm con un peralte de 12 cm de grosor	\$ 465.53 m. cuadrado	3700 m. cuadrados	\$ 1,722 461.00
Construcción de cerco perimetral y canal para recolección de agua pluvial (El cerco de maya electro soldada cercacel)	\$ 952.77 m. lineal	400 m. lineales	\$ 381,108.00
Construcción de muro Gavión. (Piedra braza a 90° de inclinación con dimensiones de 1.20m X 1.5m. Cubierto por malla metálica con protección de plástico y diámetro de 0.5 cm.	\$ 1,150.42 m. cúbico	72 m. cúbicos	\$ 82,830.24
Construcción de celdas depuradoras del HAFSS (muros de concreto armado de 0.85 m X 0.20 m).	461.15 m. lineal	160.2 m. lineales	\$ 73,876.23



Construcción de pozo de abastecimiento o cárcamo cilíndrico 1.9 de diámetro externo, 2.1 m de altura y tapa superior de 0.1m de espesor, con paredes de 0.20 m.	\$ 29,251.70 pieza	1 pieza	\$ 35,251.70
Construcción de trampa para grasas, con depósito de acumulación de concreto armado	\$ 35,221.00 pieza	1 pieza	\$ 35,221.00
Construcción de desarenador tipo Parshal de concreto armado	\$ 31,511.00 pieza	1 pieza	\$ 31,511.00
Construcción de canaleta de conducción de agua a tratar de concreto armado	\$ 520.00 m. lineal	135 m. lineales	\$ 70,200.00
Colocación de tubería de PVC reforzado en las celdas depuradoras	\$ 150.00 m. lineal	240 m. lineales	\$ 36,000.00
Construcción de filtro A base de piedra rocosa en concreto armado	\$ 29,562.00 pieza	1 pieza	\$ 29,562.00
Construcción de tanque sedimentador en forma de cubo con loza superior de 11m. de largo x 3 m. de ancho y 1.7 m, de alto y con pantalla difusora.	\$ 83,268.00 pieza	1 pieza	\$ 83,268.00
Construcción de columnas de 0.5 m de diámetro y dos metros de altura con dados de cimentación	\$ 8050.00 por pieza	80 piezas	\$ 644,000.00
Construcción de Loza a desniveles	\$ 1052.55 por m. cuadrado	2,125 m. cuadrados	\$ 2,236,668.75
Impermeabilización con geo membrana de alta densidad a todo el sistema de humedales y laguna de maduración	\$ 200.00 por m. cuadrado	5200 m. cuadrados	\$ 1,040,000.00
Suministro de materiales de sustrato a las celdas depuradoras	\$ 523.00 m. cúbico	53 m cúbicos	\$ 27,719.00
Iluminación y cableado en todo el escenario del humedal, con transformador trifásico.	\$ 195,680.90	1 Sistema	\$ 195,680.90



Bombas centrífugas de 3 HP para alimentación de agua del cárcamo al sedimentador, incluye circuitos de control automáticos e instalación.	\$ 13,590.00	2 Equipos	\$ 27,180.00
Vegetación en el STHA, así como de áreas verdes para diseño del paisaje.	\$ 202.90	600 m cuadrados	\$ 121,740.00
Acabados y pintura	\$ 60.50	560 m cuadrados	\$ 33,880.00
Obra alterna de pavimentación desde la entrada a carretera principal	\$ 920.00	800 m cuadrados	\$ 736,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 9,755,775.23</b>



## VII. CONCLUSIONES

*"La diversidad cultural y biológica de los humedales representa una riqueza que nos sustenta física y psicológicamente. El patrimonio cultural de los humedales es resultado de la milenaria asociación de estos con las personas, una relación que ha aportado ´riqueza´ a la sociedad humana y que debe seguir haciéndolo para las generaciones futuras".*

*Convención de Ramsar*



Finalmente este proceso tiene las siguientes características como resultado del estudio ambiental para la bio restauración del sistema hídrico en San Miguel Xico: El agua a tratar es conducida desde la laguna “a” que se encuentra 30 metros al Sur de la laguna “b” por medio de un tubo de 30 pulgadas que se encuentra de manera subterránea perpendicular a la carretera Tláhuac-Chalco, el cual desemboca a un canal rectangular, que cuenta con una rejilla de desbaste, con la capacidad de retener objetos con diámetros mayores a 4 cm.

Posterior a este, se encuentra la trampa para grasas que se encarga de retener y absorber las mismas presentes en el agua, siguiendo la trayectoria se encuentra un pozo de abastecimiento que tiene la finalidad de garantizar el suministro de caudal a una bomba que se localiza al interior, misma que debe enviar 2L/s de agua a tratar al canal rectangular que conduce al filtro depurador, dicho canal presenta una ampliación del mismo, el cual extiende en su interior rocas calizas que actuarán como material filtrante.

La finalidad de este filtro es la de remover compuestos clorados que puedan dañar tanto a los microorganismos depuradores y a las plantas presentes en el humedal artificial. Así mismo, permite la remoción de compuestos fosforados que contribuyen al fenómeno de eutrofización. A la salida del filtro se encuentra una canaleta tipo *Parshal* que tiene la doble función, por un lado, actúa como medidor de caudal y por el otro como desarenador.

Al final del mismo, se encuentra un tanque sedimentador, cuya función es retener las partículas de arena encontradas en el agua que ingresa por este conducto. Lo anterior con la finalidad que no se reduzca la capacidad de remoción del sistema de tratamiento. El tanque sedimentador cuenta con un área de  $28.8 m^2$ , el cual cuenta con un volumen de  $43m^3$ .



Una vez transcurridas las 5.7 horas de tiempo de residencia hidráulico (TRH) en el sedimentador, el efluente es conducido hacia los módulos de los humedales artificiales de flujo sub superficial, que tienen un área total efectiva de  $403.33 \text{ m}^2$ . Asimismo, dentro de la línea de tratamiento se considera en la parte final, una laguna de maduración con un área efectiva de  $1200 \text{ m}^2$ , dando como resultado un área total efectiva de tratamiento de  $1603.33 \text{ m}^2$ . El sistema implementado es de tipo modular. Los módulos están acoplados con un arreglo en serie. Los sistemas están formados por un par de módulos con HAFSSV y un módulo del HFASSH, todos los módulos tienen las mismas dimensiones y en cada uno fluyen volúmenes iguales.

El par de módulos corresponde a los humedales de flujo vertical, y contiene como material de sustrato principal grava de origen ígneo, para favorecer la remoción de materia orgánica (medida como  $\text{DBO}_5$ ), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (SDT), además de fomentar la biotransformación del nitrógeno amoniacal ( $\text{N} - \text{NH}_4$ ) hacia nitrógeno nitrato ( $\text{N} - \text{NO}_3$ ). El Tercer módulo tiene como soporte principal gravilla a base de mineral de roca caliza, que permitirá remover a los ortofosfatos ( $\text{P} - \text{PO}_4^{3-}$ ) y llevar a cabo el proceso de desnitrificación. El agua de salida de los tres módulos del HAFSS tendrá como destino un solo punto donde se colocará un registro para acceder a la toma de muestras. Posteriormente el agua pasará a la laguna de maduración.

Las plantas de los humedales de flujo vertical y horizontal son de tipo hidrófila enraizada emergente, que favorece la asimilación de  $\text{N-NO}_3$ , la incorporación de materia carbonosa a su tejido y el intercambio de oxígeno en la zona del rizoma, para el desarrollo de microorganismos depuradores que mitigan los contaminantes en el sistema.

El agua proveniente de los HAFSS se destina a la laguna de maduración, la cual tiene un área de  $1200 \text{ m}^2$  y es capaz de llevar a cabo un pulimento, disminuyendo la





concentración de los contaminantes presentes. En esta laguna con el uso de plantas hidrófilas sub-emergentes y de libre flotación procurando el mantenimiento pertinente. La selección de las plantas del humedal a usar es la vegetación originaria de la zona y se complementarán con otras provenientes de climas similares para su fácil adaptación.

Los procesos que tienen lugar para la depuración de contaminantes con las plantas macrófitas se llevan a cabo por medio de mecanismos como son la filtración y sedimentación de sólidos, incorporación de nutrientes en plantas y su posterior cosechado, y la degradación de materia orgánica por un conjunto de microorganismos asociados a las raíces de los vegetales y en los detritos del fondo del humedal.

El **supuesto** se obtiene una vez que se tiene agua tratada, ésta tendrá las características idóneas mayor al 50% a partir de los indicadores encontrados como contaminantes que impactan el área de estudio, y esa capacidad de remoción se puede presentar con la propuesta planteada, consiguiendo efectos positivos desde la sustentabilidad hídrica. Ante tal panorama, es conveniente tomar en cuenta los siguientes aspectos que se disponen para el cuidado del entorno, así como los aspectos que impactan de forma positiva en el sistema desde una perspectiva futurible:

- ✓ El diseño que se presenta como propuesta y afín con los criterios establecidos, es una invitación para el tratamiento de agua de la laguna de San Miguel Xico, que coadyuve en la planeación urbana y ordenamiento municipal, con beneficios que impactan en las dimensiones de la sustentabilidad.
- ✓ La multidisciplinaria como eje rector, en este sentido, el diseño visto de forma aislada dentro de una sociedad con diversas problemáticas socio-ambientales, denota que una sola área de conocimiento no ofrece las alternativas a las dificultades que se perciben.



- ✓ Las disciplinas se fortalecen cuando existe un cruce, que va desde la intersección hasta el reconocimiento del encuentro con el conocimiento, de aplicarse en los límites de lo que se considera el objeto de estudio.
- ✓ Los resultados obtenidos en el ciclo anual de muestreo y el análisis de la literatura, se observa que con la propuesta es posible la reducción de contaminantes presentes en el sistema hídrico. Generando la protección de la vida acuática desde la mirada de la comisión RAMSAR que tiene en la lista de áreas naturales protegidas estos sistemas, además desde la jurisprudencia del artículo 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, se vela por la protección de las aguas.
- ✓ Así también se suma la importancia de cuidar el ganado que aún se considera como parte del contexto, que abreva o transita la zona.
- ✓ Es posible la generación de empleos antes, durante y después de la instalación del sistema de humedales.
- ✓ Desaparición de los espacios de pantano, malos olores y riesgos de salud a la población circundante. Por consiguiente, se da un paisaje estético del lugar.
- ✓ Equilibrio ambiental y servicios en la producción de flores de ornato, tule para manufactura de artesanías, creación de estanques para el cultivo de peces y cultivos de alto rendimiento.
- ✓ Dentro del impacto social la formación de recursos humanos, generando las visitas escolares con fines de educación ambiental para la sustentabilidad.



- ✓ Finalmente, la eficiencia en la remoción de contaminantes supera los requerimientos normativos, por lo que se considera una propuesta viable, de bajo costo energético y de infraestructura, en comparación con plantas de tratamiento que superan en costo, construcción, operación y mantenimiento.
- ✓ La aceptación de ecotecnias por parte de la población local, en el desempeño de la acción ante los problemas ambientales de su región, a través de talleres que permeen en torno a la cultura del agua, permitiendo una participación activa e integral en el cuidado de su entorno y consiguiendo un sentido de pertenencia e identidad.
- ✓ La Educación ambiental para la sustentabilidad como práctica social confirma el quehacer del ser humano que implica la reflexión y la acción ante la diversidad de problemas que emergen en el ambiente, además plantea la búsqueda de alternativas factibles que cambien la perspectiva dominante de desarrollo y promueva atributos como los valores culturales, ecológicos, estéticos, asociados al concepto de patrimonio natural, que se comprende como el acervo que se recibe de quienes nos antecedieron y que debe ser sostenido para las futuras generaciones.



## VIII. PROSPECTIVA DE TRABAJO

*“Únicamente si aprendemos a ver el valor de la naturaleza en sí misma, la naturaleza permitirá que los humanos estemos mucho tiempo más”*

*Extracto de la Carta de la Tierra*



El impacto esperado con la puesta en marcha del humedal artificial de flujo sub superficial es el **fin** del proyecto hacia el plano futurable y futuro se enmarca en el discurso de la sustentabilidad que permea las dimensiones de orden ambiental, social y económico: En el ámbito ambiental contribuye a la recuperación, conservación y protección de la zona lagunar, a través de la implementación del humedal artificial sub superficial híbrido, el **medio** con las ventajas que provee de servicios ambientales, además de contribuir ante la problemática global que se suscita en la actualidad, el cambio climático y el estrés hídrico restringen la disponibilidad de agua en el mundo por lo que es importante tomar acciones que lleven a la recuperación de los ecosistemas para un buen uso y manejo sustentable de los recursos naturales.

El diseño desde la perspectiva para la planeación urbana en su mejoramiento a nivel municipal con respecto al uso de suelo y a la protección de los recursos como el agua y para dar sustentabilidad en este rubro, la problemática del agua fue calificada como un asunto de seguridad nacional y se agenda dentro del gobierno federal como un asunto de prioridad nacional a formular en la Agenda del Agua, que busca robustecer una política de sustentabilidad hídrica, ante tal discurso, este proyecto fortalece la documentación que se requiere para la planeación urbana en el diseño propio del hábitat construido y el ambiente natural.

En el ámbito social potencia y genera empleos y servicios a la comunidad a través del manejo del humedal artificial, obteniendo producción en cuanto a floricultura y especies de ornato, además de la obtención de los residuos vegetales que pueden utilizarse como composta que sirvan al suelo y en la generación de artesanías, se potencia el ramo agrícola y el medio rural. En ámbito económico, se reducen los costos por operación y mantenimiento del humedal artificial, ya que no se requiere de una infraestructura compleja para su desarrollo. Es importante, en el sentido de viabilizar un proyecto de esta magnitud, toda vez que pueden generarse espacios de concurrencia, recreación con



ganancias a nivel local, que contribuya al manejo del lugar y al mejoramiento del paisaje.

## IX. REFERENCIAS

- Allembly, B. R. (1991). Design for environment: a tool whose time has come. SSA Journal September.
- APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (1995).
- APHA. Método 2130 B. "Método nefelométrico" Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, American Public Health Association, USA, 17a. Edición 1989, 2-12 - 2-17.
- Arcos, R., Díaz, A., y Domínguez (2002). Microfitas acuáticas. ¿Contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados? Salud ambiental y sanitaria.
- Baruth, E. (2005). Water treatment plant design. United States of America: McGraw-Hill.
- Bohm, David, (1997). Sobre el diálogo. Barcelona: Kairós.
- Bonilla, B. y Santamaría, A. (2013). Plantas acuáticas y exóticas traslocadas invasoras. CONABIO.
- Brix, H. (1993). Wastewater treatment in constructed wetland: System design, removal process and treatment performance. In: Constructed Wetlands for Water Quality Improvement (ed. Moshiri, G.) 9-22, Capítulo 2 (Press Inc Boca de Ratón, Florida. EUA, 1993).
- Burns, E. et al. (2011). Plan hídrico para las subcuencas de Amecameca, la Compañía y Tláhuac-Xico. UAM. Comisión de cuenca.
- Callaway, J. C., G. Sullivan, J. S. Desmond, G. D. Williams y J. B. Zedler. (2004). Assessment and Monitoring. En: J. B. Zedler (ed.). Handbook for Restoring Tidal Wetlands. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Camarillo, S. R.; Maurer, W. F. y Ulacia B. R. (2004). Lago Tlahuac-Xico. Regeneración de un ecosistema hídrico urbano. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Remediation. CRC Press Web site at <http://www.crcpress.com>
- Carabias, J. y Landa, R. (2005). Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Autónoma de México: El colegio de México, Fundación Gonzalo Río Aronte. México.
- Chávez, C., M. T. A. Huerta y E. Valles. 1986. Evaluación ecológica del estado actual de la comunidad de aves acuáticas del ex Lago de Texcoco. Departamento de Manejo de Recursos Bióticos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Comisión del Lago de Texcoco, México, D. F. 10 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diciembre de 2009.



- CONAGUA (2011). Agenda del agua 2030. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 67.
- CONAGUA (2013). Atlas digital del agua.
- CONAGUA (2014). Estadísticas del agua en México 2014.
- CONAGUA (2014). Impacto ambiental. Dirección de impactos y riesgo ambiental: 2014-10-23
- Contreras, F. (1996). Los humedales costeros mexicanos. In: Abarca, F. & M. Herzyg (Eds). Manual para el Manejo y la Conservación de Humedales en México. V Edición. PRONATURA, SEMARNAT, DUMAC, SWS, RAMSAR, Arizona Game and Fish, NAWCC, Environmental Canada. Febrero: 1–26.
- Cortolima, (2000). Corporación Autónoma Regional Del Tolima. Subdirección De Ordenamiento Territorial. Clasificación de las cuencas hidrográficas del departamento del Tolima. Ibagué.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá: McGraw-Hill.
- De la Lanza, Espino, G., Alcocer, J. D., Moreno, R. Y Hernández, P.S. (2007). Análisis químico–biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México. Hidrobiológica v.18 n.1 México mar. 2008.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales
- Diario Oficial de la Federación (2013). Convenio celebrado para disminuir el riesgo de inundaciones en Valle de Chalco y recuperar la laguna Tláhuac Xico. Recuperado: <http://dof.gob.mx>.
- Díaz, A: Jiménez, M: Herrera, L. (2015). Diseño de trampa para grasas con fibras naturales- En: Sustentabilidad Productiva Sectorial. Pp40-80. UAEM.
- DOF. (2016). Diario oficial de la federación.
- Dolotov A. V., Gapeeva M. V. y Kozlovskii E. V. (2010). Assessment of the Uvod reservoir pollution with heavy metals. J. Water Resour. 37, 58-64
- Duhau, E; y Giglia A. (2007). Globalización e informalidad en la Ciudad de México. Prácticas de consumo y movilidad. Trace, 51 | 2007, 28-43.
- EPA. (2014). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. [www.epa.gov](http://www.epa.gov) Agencia de Protección al ambiente de los EE.UU (EPA). (2010). Protección a la salud humana y al ambiente. Consultado el 22 de noviembre de 2014. Disponible en <http://www.ecologiahoy.com/epa>
- EPA. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. [www.epa.gov](http://www.epa.gov) Agencia de Protección al ambiente de los EE.UU (EPA). (2010). Protección a la salud humana y al ambiente. Consultado el 22 de noviembre de 2014. Disponible en <http://www.ecologiahoy.com/epa>
- EPA. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos-EPA. Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable. EPA 815-F-00-007, 1983,2000.





- Falkenmark, M., y C. Widstrand. (1992). Population and water resources: A delicate balance. Population Bulletin. Population Reference Bureau.
- Fernández, J. (2008). *Manual de fitodepuración*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- FPNU. (2004). Estado de la población mundial. Fondo de Población de las Naciones Unidas. Recuperado: [www.unfpa.org/swp/swpmain.htm](http://www.unfpa.org/swp/swpmain.htm).
- García, J., & Corzo, A. (2008). Depuración con humedales construidos "Guía práctica de diseño, construcción y exploración de sistemas de humedales de flujo subsuperficial". España: Universidad de Cataluña.
- Gleick, P.H. and Palaniappan, M. (2010). Peak Water: Conceptual and practical limits to freshwater withdrawal and use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25): 11 155–11 162.
- González, O. (2011). Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, Vol. XXXII, 61-70.
- Gupta I., Daghe S. y Kumar R. (2009). Study of variations in water quality of Mumbai coast through multivariate analysis techniques. *Indian J. Mar. Sci.* 30, 170-177.
- Hernández, M. S. (2010). *Diseño y Manejo Sustentable en Edificación*. UAEM.
- INEGI (2009) *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Valle de Chalco Solidaridad, México.
- Infante, C. (2001). Biorrestauración de áreas impactadas por crudo por medio de intebios® y biorize®. Consultado el 21 de noviembre de 2014. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/scielo>
- Jiménez, C. B. y Ramos H. J. G. (1997). *Revisión de los criterios ecológicos de calidad del agua para uso agrícola*. Elaborado para la Comisión Nacional del Agua. Instituto de Ingeniería, UNAM. pp. 181.
- Kazi T. G., Arain M. B., Jamali M. K., Jalbani N., Afridi H. I., Sarfraz R. A., Baig J. A. y Shah A. Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72, 301-309.
- Kuklinski, C. (2011). *Medio ambiente sanidad y gestión*. España: Omega.
- Legorreta, J. (1997). Agua de lluvia, la llave del futuro en el Valle de México. *La Jornada ecológica*. pp. 1–12.
- Lermontov A., Yokoyama L., Lermontov M., y Soares Machado M. A. 2011. A Fuzzy Water Quality Index for Watershed Quality Analysis and Management. En *Environmental Management in Practice* (E. Broniewicz, Ed.). ISBN: 978-953-307-358-3 [en línea] <http://www.intechopen.com/books/environmental-management-in-practice/a-fuzzy-water-quality-index-for-watershed-quality-analysis-and-management> 30/09/2012
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última Reforma DOF 16-01-2014



- Ley General del Equilibrio Ecológico. (2004). Legislación de Ecología. Reglamento de la comisión ambiental metropolitana. México. Sista.
- Lozano-Rivas, W. (2012). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá.
- Llagas, C, Wilmer, A. y Gómez G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Revista del Instituto de Investigaciones, 2006
- Luengo, G.E. (2012). La transdisciplina y sus desafíos a la universidad. En: Interdisciplina y transdisciplina: aportes desde la investigación y la intervención social universitaria. ITESO. Guadalajara, México.
- Luna P y Aburto C. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 17(1):32-55.
- Luna P.. y Ramírez Carrillo, H.F. (2004). Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedales artificiales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 20(1), 31-38 (2004).
- Martínez, E. 1996. La restauración ecológica. Ciencias 43: 56-59. México.
- Meffe, G.K. y C.R. Carroll. 1994. Principles of Conservation Biology. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, EE.UU.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. España: McGraw-Hill.
- Mihelcic, James. (2012). Ingeniería ambiental-Fundamentos sustentabilidad-diseño. Alfaomega.
- Moctezuma, B. P. (2011). Un proyecto sustentable para la cuenca de México. Casa del Tiempo Vol. IV. Época IV, Número 41, pp 35-38.
- Moreno O. (2009). Arquitectura del Paisaje: retrospectiva y prospectiva de la disciplina a nivel Global y Latinoamericano. En Revista De Arquitectura N° 19. Ed. Universidad de Chile. Moreno, S.E. (2012). Caracterización social, urbana y territorial de la región oriente del Estado de México. *Quivera*. Vol. 14(1): 2-19
- Moreno O., Fenocchio R. (2012). La imagen del paisaje urbano: un espacio de percepción dialéctica. En Habitar el Paisaje. Ediciones Universidad Central.
- Moreno, O. (2013). Paisaje, riesgo y resiliencia. La arquitectura del paisaje en la modelación sustentable del territorio. Revista de la Cátedra UNESCO sobre Desarrollo Sostenible de la UPV/EHU · N° 06 · 2012-2013: 17-30
- NMX-AA-004-SCFI-2000: Análisis de agua, determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba.
- NMX-AA-005-SCFI-2000: Análisis de agua, determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba.



- NMX-AA-034-SCFI-2001: Análisis de agua determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba.
- NMX-AA-051-SCFI-2001: Análisis de agua determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- método de prueba.
- NMX-AA-093-SCFI-2000: Análisis de agua determinación de la conductividad electrolítica- método de prueba.
- NOM-001-ECOL-1996: Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-127-SSA1-1994: Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- OMS. Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health criteria and other supporting information. Segunda edición. Ginebra, 1996.
- ONU-HABITAT. (2008). Manual de Humedales Artificiales.
- OPS, OMS, (2000). La salud y el ambiente en el desarrollo sostenible. Publicación científica. Núm. 572 Washington D.C.
- OPS/CEPIS. (2003). Especificaciones Técnicas para el diseño de trampa de grasa. Lima:
- OPS/CEPIS. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F., Alfayate, J. (2005). Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Thomson.
- Peña, E., Carter, E. & Fierro, Ayala. (2001). Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgos y restauración ambiental. Consultado el 20 de noviembre de 2014. Recuperado de [http://www2.udec.cl/matpel/cursos/toxicologia\\_ambiental.pdf](http://www2.udec.cl/matpel/cursos/toxicologia_ambiental.pdf)
- Perló C, M. y A. González R. (2005). ¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México. PUEC–UNAM/Fundación Friedrich Ebert, México.
- PNUD- INEGI (2011). «Informe sobre Desarrollo Humano. Estado de México 2011. Equidad y política social. Recuperado el 20 de noviembre de 2014 de: <http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca02/1901/1956-19-1%20molina.pdf> Molina R Estudios geoquímicos, geofísicos y geológicos de la subcuenca de Chalco, mex.
- PNUMA, ERCE, UNESCO. (2008). Water Quality for Ecosystems and Human Health. 2ª edición.
- Razzaq-Gumman A. (2011). Assessment of water quality of Rwal lake by long time period. Environ. Monit. Assess. 180, 115-126.
- Roldán P., G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia.



- Roldan, P.G. y Ramírez R. J.J. (2008). Fundamentos de Limnología tropical. Universidad de Antioquía.
- Romero, G.M. (2010). Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. Ingeniería primero No. 17, 64-74.
- Rubio, Fernández. (1996). Suelos Contaminados. Instituto Tecnológico Geominero de España. Club Español de la Minería. P 113
- Sánchez,O; Peters, E., Márquez-Huitzil; Vega; Portales G., Valdez M., y Azuara D. (Eds.) (2005). Temas sobre restauración ecológica. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología U.S. Fish & Wildlife Service Unidos para la Conservación, A.C.
- Sandoval-Minero R. (2004). Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). [en línea] <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/48.pdf> 30/09/2012.
- SEMARNAT. (2012). Normas Oficiales Mexicanas de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Consultado el 21 de noviembre de 2014. Recuperado de <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/nom-conjunta>
- Serrano A. (2008) Posibles Controles Hidrogeológicos de Impacto Ambiental por la Extracción de Agua Subterránea en Xochimilco, México, Journal of Latin American Geography, 7 (1)
- Spellman, F. (2004). Mathematics manual for water and wastewater treatment plant operators. United States of America: CRC Press LLC.
- Stefanakis, A., Akratos, C., y Tsihrintzis, V. (2014). Vertical flow constructed wetlands "Eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment". China: ELSEVIER.
- Sugiura, Y. (2005). Y atrás quedó la ciudad de los dioses. Historia de los asentamientos en el Valle de Toluca. UNAM. Instituto de investigaciones antropológicas.
- Tanner, C.C. y Kadlec, R.H. Oxygen flux implications of observed nitrogen removal rates in subsurface-flow treatment wetlands. *Water Science Technology* 48(5), 191-198 (2003).
- Valek, G. 2000. Agua. Reflejo de un valle en el tiempo. UNAM, México.
- Vanden, B.F. (2000) El diseño de la naturaleza o la naturaleza del diseño. UAM
- Vymazal J. y Kröpfelová, (2010). L. A Three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: First 2 years operation *Ecol.Eng.*
- Vymazal, J. (2005). Constructed wetlands for waste water reclamation. *Ecological Engineering* 25:475-477
- Waldheim C. (Ed.) 2006. The Landscape Urbanism Reader. Princeton Architectural
- Wen-Cheng L., Hwa-Lung Y. y Chung-En C. (2011). Assessment of water quality in a subtropical alpine Lake using multivariate statistical techniques and geostatistical mapping: A case study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8, 1126-1140
- Wetzel R. G. (1975). *Limnology*. W. B. Saunders Co. Philadelphia USA. pp 71-79.



Wetzel. (2001). Limnología.Omega.

Wucius-Wong (2012). Fundamentos del diseño. Colección GG.Diseño  
[www.coangua.gob.mx](http://www.coangua.gob.mx)



## X.- ANEXOS

### Anexo 1. Datos obtenidos en la toma de muestra puntual de marzo 2015 a marzo 2016.

#### A). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 14 MARZO 15.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.7	9.5	9.4	9.55	9.77	9.8	9.79
T <sub>agua</sub>	23	22.5	22	22.2	24	25.9	26.8
COND (µs/cm <sup>2</sup> )	1253	1321	1244	1339	1376	1332	1478
TDS	1109	1110	1167	1170	1160	1229	1248
T <sub>ambiente</sub>	22	22	22	22	22	22	22
Turbidez	127	128	128	130	139	141	130
SST (Mg/L)	92	107	110	117	125	124	126
Color (Pt-Co)	5235	5122	---	---	----	4135	3956

#### B). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 16 ABRIL 15.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.6	9.68	9.5	9.56	9.75	9.7	9.75
T <sub>agua</sub>	22.5	22.7	20.2	22.2	27.9	25.4	26.8
COND (µs/cm <sup>2</sup> )	1278	1235	1354	1330	1286	1242	1486
TDS	1111	1112	1175	1166	1140	1131	1242
T <sub>ambiente</sub>	24	24	24	24	24	24	24
Turbidez	129	129	130	135	143	143	134
SST (mg/L)	95	104	111	115	129	122	124
Color (Pt-Co)	5360	----	---	---	488	4104	---

#### C). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 15 MAYO 15.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
PH	9.37	9.53	9.46	9.39	9.75	9.79	9.8
T <sub>agua</sub>	23.9	23.7	22.8	22.6	26.5	25.9	25.8
cond (µS/cm <sup>2</sup> )	1198	1225	1414	1357	1298	1371	1492
TDS	1167	1156	1152	1174	1177	1159	1212
T <sub>ambiente</sub>	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3
Turbidez	119	122	126	133	145	141	138
SST (mg/L)	97	103	112	113	122	120	121
Color (pt-Co)	5322	---	---	625	520	4121	4078



**D) VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 20 JUNIO 15.**

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
PH	9.6	9.68	9.5	9.56	9.75	9.7	9.75
T agua	22.5	22.7	20.2	22.2	27.9	25.4	26.8
Cond (µS/cm <sup>2</sup> )	1278	1235	1354	1330	1286	1242	1486
TDS	1111	1112	1175	1166	1140	1131	1242
T ambiente	24	24	24	24	24	24	24
Turbidez	129	129	130	135	143	143	134
SST (mg/L)	95	104	111	115	129	122	124
Color (Pt-Co)	5360	---	---	---	448	4104	---

**E) VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 18 JULIO 15.**

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.87	9.5	9.4	9.55	9.77	9.8	9.79
T agua	21	22.5	22	22.2	24	25.9	26.8
Cond (µS/CM <sup>2</sup> )	1450	1321	1244	1339	1376	1332	1478
TDS	1000	1110	1167	1170	1160	1129	1248
T Ambiente	20	20	20	20	20	20	20
Turbidez	117	118	128	130	139	141	130
SST (Mg/L)	90	99	110	117	125	124	126
Color (Pt-Co)	4978	5056	---	---	----	4135	3956

**F). VALORES PNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 16 AGOSTO 15.**

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.37	9.53	9.46	9.39	9.75	9.79	9.80
T agua	23.9	23.7	22.8	22.6	26.5	25.90	25.8
Cond (µS/cm <sup>2</sup> )	1198	1225	1414	1357	1298	1371	1492
TDS	1167	1156	1152	1174	1177	1159	1212
T ambiente	28	28	28	28	28	28	28
Turbidez	117	118	126	133	145	141	138
SST (Mg/L)	97	103	112	113	122	120	121
Color (Pt-Co)	5322	---	---	625	520	4121	4078

**G). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 18 SEPTIEMBRE 15.**

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.45	9.61	9.45	9.0	9.75	9.72	9.61
T agua	22.3	22.5	22.1	22.2	24.0	25.40	26.50
Cond (µS/cm <sup>2</sup> )	1260	1311	1290	1312	1356	1315	1412
TDS	1122	1142	1135	1165	1178	1215	1246
T ambiente	25	25	25	25	25	25	25
Turbidez	126	127	128	129	135	139	135
SST (mg/L)	98	109	115	119	123	122	125
Color (Pt-Co)	5237	5129	---	---	-----	4138	3965





H). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: (18 OCTUBRE 15).

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.75	9.89	9.12	9.41	9.12	9.56	9.00
T agua	17.2	17.5	17.5	17.6	17.5	17.1	17.0
Cond (µs/Cm <sup>2</sup> )	1253	1351	1264	1389	1316	1332	1478
TDS	1100	1115	1158	1168	1167	1236	1225
T ambiente	16	16	16	16	16	16	16
Turbidez	135	141	145	138	139	145	139
SST (mg/L)	102	108	115	115	122	123	126
Color (Pt-Co)	5240	5132	---	---	4166	4189	3925

I) VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 17 NOVIEMBRE 15.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.5	9.3	9.5	9.2	9.8	9.6	9.4
T agua	23.2	22.5	22	22.2	23.5	23.1	23.0
Cond (µs/CM <sup>2</sup> )	1213	1345	1265	1372	1341	1372	1391
TDS	1101	1125	1145	1149	1164	1213	1252
T ambiente	24	24	24	24	24	24	24
Turbidez	127	126	125	152	136	145	139
SST (mg/L)	98	108	113	118	126	125	128
Color (Pt-Co)	5156	5125	5125	---	----	4165	3961

J). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 19 DICIEMBRE 15.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Coordenadas							
Latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
Longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
Ph	9.0	8.7	9.1	9.1	8.87	8.94	8.96
T agua	17.5	17.3	17.9	18.0	18.2	18.25	18.56
Cond (µs/CM <sup>2</sup> )	1423	1427	1417	1412	1432	1436	1428
TDS	1124	1116	1129	1109	1118	1129	1148
T ambiente	21	21	21	21	21	21	21
Turbidez	115	121	119	125	130	132	131
SST (mg/L)	97	102	101	111	119	121	119
Color (Pt-Co)	4967	4891	---	3867	----	4321	4125

K). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 16 ENERO 16.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
coordenadas							
latitud:	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
longitud:	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
ph	8.2	8.3	9.5	9.3	8.9	9.4	9.0
T agua	18.3	18.5	18.3	18.8	18.7	19.0	19.4
Cond (µs/cm <sup>2</sup> )	1443	1449	1452	1456	1447	1439	1440
TDS	1101	1109	1103	1104	1105	1102	1104
T ambiente	22	22	22	22	22	22	22
Turbidez	114	121	117	124	119	120	121
SST (mg/l)	95	104	111	115	129	122	124
Color (pt-co)	4378	----	---	3467	556	3986	---



## L). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 20 FEBRERO 16.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>Coordenadas</b>							
<b>Latitud:</b>	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
<b>Longitud:</b>	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
<b>Ph</b>	8.66	8.3	8.2	8.55	9.0	8.89	8.76
<b>T agua</b>	18.66	18.1	18.9	18.9	20.9	21.1	21.6
<b>Cond (µs/cm<sup>2</sup>)</b>	1424	1412	1432	1443	1417	1412	1432
<b>TDS</b>	1234	1118	1156	1178	1193	1200	1212
<b>T ambiente</b>	24	24	24	24	24	24	24
<b>Turbidez</b>	138	127	136	121	125	133	121
<b>SST (Mg/L)</b>	104	102	103	105	102	107	109
<b>Color (Pt-co)</b>	4523	4345	---	---	678	3978	---

## M). VALORES PUNTUALES OBTENIDOS EN CAMPO Y POSICIÓN GEOGRÁFICA: 22 MARZO 16.

PARÁMETRO	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>Coordenadas</b>							
<b>Latitud:</b>	19°15'15.68"N	19°15'15.99"N	19°15'16.36"N	19°15'16.10"N	19°15'16.93"N	19°15'17.12"N	19°15'19.77"N
<b>Longitud:</b>	98°56'49.82"O	98°56'49.86"O	98°56'50.05"O	98°56'51.43"O	98°56'53.06"O	98°56'53.21"O	98°56'56.29"O
<b>Ph</b>	9.4	9.46	9.5	9.45	9.52	9.443	9.48
<b>T agua</b>	20.5	20.7	20.2	21.0	20.9	21.4	21.8
<b>Cond (µs/CM<sup>2</sup>)</b>	1441	1443	1435	1449	1439	1442	1438
<b>TDS</b>	1099	1110	1115	1097	1120	1131	1142
<b>T ambiente</b>	26	26	26	26	26	26	26
<b>Turbidez</b>	134	126	130	131	129	139	135
<b>SST (Mg/L)</b>	99	101	110	112	119	112	124
<b>Color (Pt-co)</b>	3994	---	4098	---	3923	3214	---



**Anexo 2. Intervalo de confianza de datos analizados del ciclo anual correspondientes a los parámetros: temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, conductividad, turbidez, TDS y STS.**

A) INTERVALO DE CONFIANZA PH							
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	9.34384615	9.30615385	9.31461538	9.30846154	9.5	9.54846154	9.45307692
<b>DESEST</b>	0.46853563	0.52471482	0.3620915	0.29048368	0.37638633	0.31077447	0.38797304
<b>MEDIANA</b>	9.45	9.5	9.46	9.39	9.75	9.7	9.61
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	9.45	9.5	9.46	9.39	9.75	9.7	9.61
<b>%ERROR</b>	0.25469887	0.28523822	0.19683518	0.15790873	0.20460594	0.16893892	0.21090454
	9.19530113	9.21476178	9.26316482	9.23209127	9.54539406	9.53106108	9.39909546
	9.70469887	9.78523822	9.65683518	9.54790873	9.95460594	9.86893892	9.82090454

B) INTERVALO DE CONFIANZA TEMPERATURA DEL AGUA							
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	21.1123077	21.1461538	20.5307692	20.9769231	23.1153846	23.0576923	23.5892308
<b>DESEST</b>	2.43911922	2.41129819	1.89973008	1.90532318	3.60782625	3.2968322	3.57363135
<b>MEDIANA</b>	22.3	22.5	20.2	22.2	24	25.4	25.8
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	22.3	22.5	20.2	22.2	24	25.4	25.8
<b>%ERROR</b>	1.32592031	1.31079663	1.03270503	1.03574548	1.96123669	1.7921784	1.94264813
	20.9740797	21.1892034	19.167295	21.1642545	22.0387633	23.6078216	23.8573519
	23.6259203	23.8107966	21.232705	23.2357455	25.9612367	27.1921784	27.7426481

C) INTERVALO DE CONFIANZA TEMPERATURA AMBIENTE							
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	23.1769231	23.1769231	23.1769231	23.1769231	23.1769231	23.1769231	23.1769231
<b>DESEST</b>	3.03977901	3.03977901	3.03977901	3.03977901	3.03977901	3.03977901	3.03977901
<b>MEDIANA</b>	24	24	24	24	24	24	24
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	24	24	24	24	24	24	24
<b>%ERROR</b>	1.65244269	1.65244269	1.65244269	1.65244269	1.65244269	1.65244269	1.65244269
	22.3475573	22.3475573	22.3475573	22.3475573	22.3475573	22.3475573	22.3475573
	25.6524427	25.6524427	25.6524427	25.6524427	25.6524427	25.6524427	25.6524427

D) INTERVALO DE CONFIANZA TDS							
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	1105.16667	1113.7	1152.6	1169	1162.75	1209.33333	1246.33333
<b>DESEST</b>	5.74166062	4.96767328	4.97995984	3.7859389	3.40342964	8.14452782	3.88158043
<b>MEDIANA</b>	1105	1112	1152	1168	1162	1213	1247
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	1105	1112	1152	1168	1162	1213	1247
<b>%ERROR</b>	4.59428534	3.0789958	4.36512726	2.80466278	3.33536105	7.98163726	3.10591121
	1100.40571	1108.921	1147.63487	1165.19534	1158.66464	1205.01836	1243.89409
	1109.59429	1115.079	1156.36513	1170.80466	1165.33536	1220.98164	1250.10591



**E) INTERVALO DE CONFIANZA TURBIDEZ**

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	125.153846	125.615385	128.307692	132	135.923077	138.692308	132.692308
<b>DESEST</b>	8.03996428	6.06270651	6.96879491	7.68114575	8.07735042	6.86032817	6.06059149
<b>MEDIANA</b>	127	126	128	131	139	141	134
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	127	126	128	131	139	141	134
<b>%ERROR</b>	4.37057437	3.2957248	3.78828007	4.17551839	4.3908977	3.72931687	3.29457506
	122.629426	122.704275	124.21172	126.824482	134.609102	137.270683	130.705425
	131.370574	129.295725	131.78828	135.175518	143.390898	144.729317	137.294575

**F) INTERVALO DE CONFIANZA SST**

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	99.0769231	105.538462	111.230769	116.846154	123.230769	121.846154	123.692308
<b>DESEST</b>	9.16934693	6.75296706	5.74679398	11.1119017	7.95983507	8.52297047	6.48568443
<b>MEDIANA</b>	97	104	111	115	123	122	124
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	97	104	111	115	123	122	124
<b>%ERROR</b>	4.98451377	3.67095471	3.12399279	6.04049856	4.32701563	4.63313952	3.52565822
	92.0154862	100.329045	107.876007	108.959501	118.672984	117.36686	120.474342
	101.984514	107.670955	114.123993	121.040499	127.327016	126.63314	127.525658

**G) INTERVALO DE CONFIANZA CONDUCTIVIDAD**

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
<b>PROMEDIO</b>	1255.33333	1230	1415	1334.5	1439.33333	1439	1436.66667
<b>DESEST</b>	4.04145188	5.77350269	1.73205081	5.19615242	7.5055535	3	4.163332
<b>MEDIANA</b>	1253	1230	1414	1334.5	1439	1439	1438
	INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95%						
	1253	1230	1414	1334.5	1439	1439	1438
<b>%ERROR</b>	4.57333333	5.65803264	1.96	5.09222937	7.35544243	3.39481958	4.71125367
	1248.42667	1224.34197	1412.04	1329.40777	1431.64456	1435.60518	1433.28875
	1257.57333	1235.65803	1415.96	1339.59223	1446.35544	1442.39482	1442.71125



## XI.ABREVIATURAS

**ANP** (Área Natural Protegida)  
**APHA** (American Public Health Association)  
**AWWA** (American Water Works Association )  
**CEPAL** (Comisión Económica para América Latina y el Caribe)  
**CEPIS** (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente)  
**CO<sub>2</sub>** (Bióxido de Carbono)  
**CONABIO** (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad)  
**CONAGUA** (Comisión Nacional del Agua)  
**COV** (Compuestos Orgánicos Volátiles)  
**DBO** (Demanda Biofísica de Oxígeno)  
**DBO<sub>5</sub>** (Demanda Biofísica de Oxígeno medido a los cinco días del proceso de la muestra)  
**DOF** (Diario Oficial de la Federación)  
**DQO** (Demanda Química de Oxígeno)  
**EDOMEX** (Estado de México)  
**EPA** (Agencia de Protección al ambiente por sus siglas en inglés)  
**ERCE** (Centro Regional Europeo de Ecohidrología)  
**FPNU** (Fondo de Población de Naciones Unidas)  
**HA** (Humedales artificiales)  
**HAFS** (Humedales artificiales de flujo superficial)  
**HAFSS** (Humedales artificiales de flujo sub superficial)  
**HAFSSH** (Humedales artificiales de flujo sub superficial Horizontal)  
**HAFSSV** (Humedales artificiales de flujo sub superficial Vertical)  
**HAH** (Humedales Artificiales Horizontales)  
**HAV** (Humedales Artificiales Verticales)  
**HAV** (Humedales Artificiales Verticales)  
**HNO<sub>3</sub>** (Ácido nítrico)  
**INEGI** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)  
**ISO** (International Organization for Standardization por sus siglas en inglés)  
**LGEEPA** (Ley General del Equilibrio Ecológico para el Ambiente)  
**NOM** (Norma Oficial Mexicana)  
**NPM** (Número Más Probable)  
**O<sub>2</sub>** (Oxígeno)  
**OMM** (Organización Meteorológica Mundial)  
**OMS** (Organización Mundial de la Salud)  
**ONU-HABITAT** (Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos)  
**OPS** (Organización Panamericana de la Salud)  
**PH** (Potencial de Hidrógeno)  
**PNUMA** (Programa de Naciones Unidas para el medio ambiente)  
**SEDUE** (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología)  
**SDT** (Sólidos Disueltos Totales)  
**SEMARNAT** (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)  
**SST** (Sólidos Suspendidos Totales)  
**UAM** (Universidad Autónoma Metropolitana)  
**UNAM** (Universidad Nacional Autónoma de México)  
**UNESCO** ((Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)  
**UNT** (Unidades nefelométricas de turbidez)  
**USEPA** (United States Environmental Protection Agency)



## XI. LISTA DE TABLAS

<b>Sección IV</b>		
1	Dimensiones y parámetros hidráulicos del embalse “b”	74
<b>Sección V</b>		
2	Criterios de diseño de rejillas de desbaste	83
3	Velocidad de sedimentación	86
4	Parámetros de diseño de humedal subsuperficial de flujo vertical y horizontal	91
5	Materiales de uso en el diseño de humedales	96
6	Datos del área útil de la rejilla de desbaste.	103
7	Datos de la pérdida de carga de la rejilla de desbaste	103
8	Datos de longitud de la rejilla de desbaste	104
9	Datos del número de barrotes de la rejilla de desbaste	104
10	Datos de las dimensiones de la cámara de recepción	106
11	Datos del tiempo de retención hidráulico	106
12	Datos de la velocidad de sedimentación	111
13	Datos del número de Reynolds	112
14	Datos del coeficiente de arrastre	112
15	Datos de la velocidad real de sedimentación	112
16	Datos del área superficial del sedimentador	113
17	Datos de las dimensiones del sedimentador	113
18	Datos de la velocidad horizontal.	113
19	Datos de la velocidad de arrastre.	114
20	Valores para verificar la relación de velocidad y dimensiones	114
21	Valores para calcular el tiempo de retención hidráulico.	114
22	Valores para calcular la eficiencia del sedimentador en la remoción de la DBO	115
23	Datos de la eficiencia del sedimentador en la remoción de SST	115
24	Valores para calcular el área total de los orificios de la pantalla difusora.	117
25	Valores para calcular el número de orificios de la pantalla difusora.	117
26	Valores para calcular la altura de la pantalla difusora	117
27	Valores para calcular la distribución de los orificios de manera horizontal.	118
28	Valores para calcular la distribución de los orificios de forma vertical	118
29	Datos de materiales de sustrato o lecho filtrante	122
30	Vegetación sugerida en el humedal	122
31	Valores para calcular el área superficial del humedal artificial.	125
32	Valores para calcular el tiempo retención hidráulica.	126
33	Valores para calcular el área de la sección transversal.	126
34	Valores para calcular el ancho del humedal	126
35	Valores para calcular la longitud del humedal	127
<b>Sección VI</b>		
36	Estándares de EPA considera una UNT para consumo humano.	141
37	Límites máximos permisibles de SST/nom 001/SEMARNAT/1997	142
38	Resumen de 13 muestreos analizados en Xico, en comparación con los límites máximos permisibles.	145
39	Comparación entre los límites máximos permisibles establecidos nom-001-SEMARNAT-1997 y los valores obtenidos fósforo, nitrógeno, arsénico y metales pesados.	147
40	Límites máximos permisibles para metales pesados y arsénico: nom-001-ecol-1996	149



## XI.LISTA DE FIGURAS

### Sección III

3.	Distribución de agua en el mundo	13
3.1	La gran Tenochtitlán. Recreación artística de Filsinger	19
3.2	Geografía de la cuenca del Valle de México.	20
3.3	Xico el ombligo del mundo.	21
3.4	Lagunas Tláhuac-Xico	24
3.5	Esquema del marco legal en materia de agua	27
3.6	Marco Institucional y de gestión hídrica	28
3.7	San Miguel Xico, Valle de Chalco.	34
3.8	Elementos de un humedal artificial.	36

### Sección IV

4.	Área de muestreo San Miguel Xico, Valle de Chalco.	51
4.1	Sistema lagunar Xico.	53
4.2	Área Natural Protegida.	54
4.3	Provincias fisiográficas del Anáhuac.	55
4.4	Mapa geomorfológico	56
4.5	Mapa hídrico.	57
4.6	Mapa de clima.	58
4.7	Mapa uso de suelo.	59
4.8	Áreas de cultivo Xico.	59
4.9	Vegetación de la zona.	60
4.10	Lirio acuático.	61
4.11	Ganado.	62
4.12	Tianguis de Valle de Chalco.	63
4.13	Autopista México Puebla	66
4.14	Autopista México Puebla	66
4.15	Conjuntos habitacionales	67
4.16	Tiradero de escombros a cielo abierto	68
4.17	Descargas residuales.	69
4.18	Zona de estudio, San Miguel Xico.	71
4.19	Remanentes lagunares de la zona de Xico.	73
4.20	Puntos de muestreo.	73
4.21	Áreas de muestreo en las lagunas “b y c”.	74

### Sección V

5	Diagrama de tratamiento para San Miguel Xico.	81
5.1	Recorrido del caudal	97
5.2	Componentes de la línea de tratamiento para San Miguel Xico	101
5.3	Zona de estudio de San Miguel Xico	101
5.4	Rejilla y compuerta principal	102
5.5	Rejilla de desbaste manual.	105
5.6	Trampa para grasas y aceites.	107
5.7	Pozo o cárcamo de abastecimiento.	107
5.8	Bomba centrífuga.	108





5.9	Filtro con materiales pétreos	108
5.10	Vertedor o desarenador tipo Paarshal	109
5.11	Sedimentador primario	116
5.12	Pantalla difusora del sedimentador primario	119
5.13	Sistema híbrido de humedales artificiales	121
5.14	a) <i>Cyperus papyrus</i> b) <i>Phragmites australis</i> c) <i>Juncus effusus</i> d) <i>Schoenoplectus californicus</i>	124 125
5.15	Área superficial de humedales artificiales híbridos.	127
5.16	Humedal artificial sub superficial de flujo vertical	128
5.17	Distribución de sustrato en el humedal vertical (HFSSV).	129
5.18	Humedal artificial sub superficial de flujo horizontal	130
5.19	Selección y distribución del sustrato en HFSSH	131
5.20	Laguna de maduración.	132
<b>Sección VI</b>		
6	Maleza acuática.	141
6.1	Presencia de sales.	144
6.2	Humedales artificiales sub superficiales híbridos	173
6.3	Rejilla de desbaste manual	173
6.4	Trampa para grasas y pozo de abastecimiento	174
6.5	Vertedor tipo Parshal	174
6.6	Mantenimiento en vertedor tipo Parshal	175
6.7	Vista de sedimentador	175
6.8	Sedimentador y humedal	176
6.9	Humedal híbrido	176
6.10	Humedal híbrido y laguna de maduración	177
6.11	Laguna de maduración	177
6.12	Mantenimiento en la laguna de maduración	178
6.13	Humedales y laguna de maduración	178
6.14	Terraplenes de la laguna de maduración	179
6.15	Canales de la laguna de maduración	179
6.16	Salida de agua	180
6.17	Salida de agua hacia la laguna c	180



## XI. LISTA DE GRÁFICAS

### Sección VI

1	Valores de PH	136
2	a) Valores de temperatura ambiente b) Valores de temperatura ambiente	138
		139
3	Valores de turbiedad	140
4	Valores de sólidos suspendidos totales	142
5	Valores de Sólidos disueltos totales.	143
6	Valores de conductividad	144



