



# Informe Final

## Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote

31 de Marzo, 2012



Dr. Luis Zambrano González  
M. en C. Elsa L. Valiente Riveros  
Biól. Karen Levy Gálvez  
Biól. Fernando Cordova Tapia  
Biól. Armando Tovar Garza  
M. en C. Leonardo Sastré Báez  
Biól. Maya S. Rubio Lozano  
Biól. Joaquín Giménez Héau  
Biól. Martha P. Almazán Tejeda  
Lic. Carlos U. Sumano Arias  
Ing. Miguel Ángel Alvarado Hernández  
M. en C. Saúl López Alcaide  
M. en C. Constantino González Salazar  
Dra. Marisa Mazari Hiriart  
M. en C. Gustavo Pérez Ortíz  
Biól. Patricia Pérez Belmont  
Dr. Alonso Aguilar Ibarra  
Lic. María Fernanda Contreras del Valle  
Lic. Verónica Mondragón Gaytán

---

## ÍNDICE

### 1. Restauración de apantles y chinampas

1.1 Rehabilitación de apantles

1.2 Rehabilitación de chinampa

1.3 Evaluación de la unidad ambiental chinampa/apantle

1.4 Estudio de mercado

### 2. Programa de reducción de carpas y tilapias

2.1 Extracción de 50 toneladas

2.2 Producción de harina de pescado y composta

2.3 Talleres de capacitación y educación ambiental

2.4 Estudio poblacional

### 3. Sistema de monitoreo ambiental

3.1 Estructura desmontable

3.2 Compra de equipo

3.3 Habilidad de cinco sitios para colecta

3.4 Sistema de información digital

3.5 Análisis comparativo de variables bióticas y abióticas

# **1. Restauración de apantles y chinampas para la generación de refugios como vía para la conservación del ajolote y otras especies nativas.**

1.1 En la evaluación de la unidad ambiental chinampa/apantle como un modelo conceptual experimental se acondicionarán y rehabilitarán 1,350 m<sup>3</sup> (600 metros) de apantles para la generación de refugios de ajolotes y otras especies nativas.

*1.1.1 Selección de los apantles susceptibles de rehabilitación con base en un análisis espacial por medio de la revisión de imágenes aéreas y una visita prospectiva de los sitios.*

La preservación del sistema agro ecológico de Xochimilco se sustenta en el mantenimiento de la vocación productiva de sus chinampas. La extracción del sedimento para la elaboración de chapines, el mantener la humedad del suelo gracias a la cercanía de los apantles a las áreas de cultivo y el uso de los recursos locales como abono, eran prácticas agrícolas que favorecían el flujo hidrológico y el reciclaje de materia y energía en el sistema.

El abandono de la producción agrícola en las chinampas por procesos sociales y económicos, generó con el paso de los años el azolvamiento de los canales y alteraciones en el flujo hídrico además de la contaminación biológica y química del agua por la introducción de especies ajenas al sistema y métodos intensivos de producción.

Este apartado del proyecto general conlleva el objetivo de recuperar el flujo hídrico de chinampas ubicadas en la zona núcleo del área natural protegida y que presenta condiciones menos desfavorables para la rehabilitación de la calidad ambiental del sistema, así como mejorar la calidad del agua de los apantles mediante el uso de filtros biológicos que reducen la concentración de sales y de metales pesados del agua.

El análisis espacial que se lleva a cabo en el presente proyecto considera tanto variables limnológicas como biológicas y forma parte del estudio “Evaluación de la unidad ambiental

chinampa/apantle como vía para la conservación del ajolote y otras especies nativas en Xochimilco”.

La selección de los apantles y canales se realiza en dos etapas, en la primera se evaluó el área de Tezhuilo como zona núcleo chinampera y en la segunda se propondrán otras zonas de Xochimilco en función del grado de deterioro que presenten.

El área de Tezhuilo se consideró con base en análisis espaciales realizados en años recientes en los que se correlaciona estrechamente el uso de suelo con la calidad del agua. Las variables analizadas (Zambrano et al., 2009) fueron fosfatos, nitratos, temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez y concentración de bacterias fecales. El muestreo se realizó en los canales de Xochimilco y la interpolación de las variables dio como resultado la zonificación de Xochimilco en zona chinampera-urbana, zona chinampera, zona urbana y zona turística. Los valores más bajos del índice indican una mejor calidad del agua (Figura 1) y corresponden a la zona de la Laguna de Tezhuilo-La Virgen.

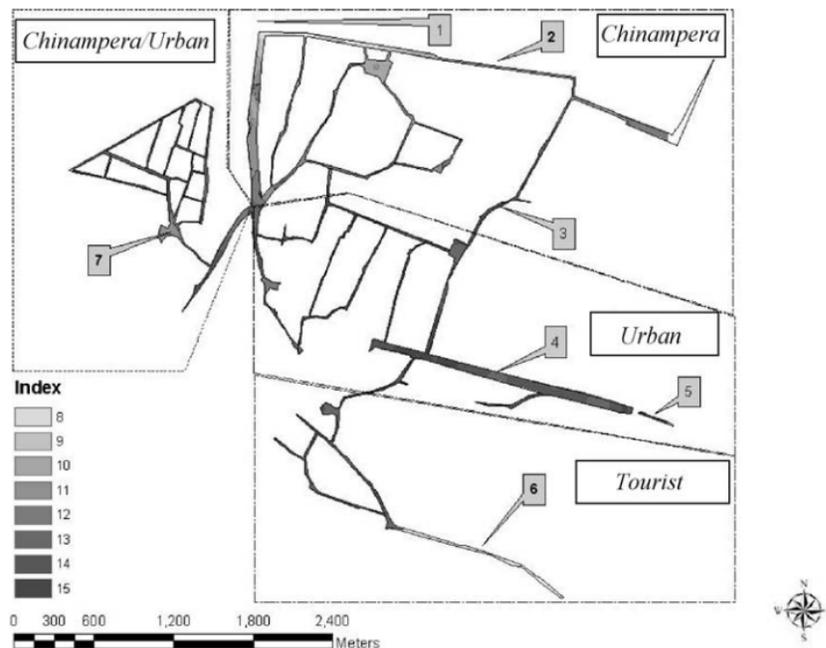


Figura 1. Zonificación de los canales de Xochimilco.

La selección del sitio de estudio se realizó con base en la información mencionada así como en diversas visitas de prospección a la zona. En ellas también se consideró la parte social, para lo cual se estableció contacto con diversos productores interesados en producir y cultivar con técnicas agroecológicas y realizar una rehabilitación integral del complejo agua-tierra, con el objetivo de recuperar la estructura del sistema que permita la conservación de la biodiversidad.

Asimismo se está considerando la rehabilitación no solo de apantles, sino también de canales en los lugares donde su conexión con otro canal sea viable y represente una mejora significativa para la dinámica hídrica local. Así como la presencia de especies nativas como el ajolote, el charal y el acocil.

La selección de la zona de Tezhuilo se determinó también por su ubicación, accesibilidad, utilidad y probabilidad de que permanezcan abiertos. Esta última condición se refiere a la disposición del dueño de la chinampa para que una vez abierta la zanja, se comprometa a mantenerla libre de maleza y a evitar el deslave de sus paredes, así como a cuidar las especies que se introduzcan en las mismas.

En el análisis también se está considerando la distribución espacial de las especies exóticas y nativas dentro del agua. Este análisis es parte de una tesis de maestría que está por terminar y que parte de los resultados se encontrarán en el documento “Evaluación de la unidad ambiental chinampa/apantle como vía para la conservación del ajolote y otras especies nativas en Xochimilco” que se presenta en un anexo del presente informe.

La selección de las chinampas está completa y su localización está escrita en las siguientes páginas cuando se describa la actividad realizada en cada una de ellas.

### *1.1.2 Limpieza y apertura de los apantles y canales*

La finalidad de esta actividad es crear una red de zanjas/apantles dentro de la zona chinampera, cuyas características bióticas y abióticas permitan el desarrollo y establecimiento de una pequeña

red trófica que proporcione la base alimenticia de especies nativas, como el ajolote *Ambystoma mexicanum*, el acocil *Cambarellus montezumae*, y peces nativos como poecílidos y godeidos. Con este objetivo se planteó la apertura de 600 m lineales de zanjas o apantles, mismos que se habilitarían para permitir la traslocación de ajolotes silvestres y así favorecer su sobrevivencia y reproducción.

Una de las premisas para lograr el mantenimiento de las zanjas o apantles habilitados, es que se localicen en chinampas que sean trabajadas a la usanza Xochimilca tradicional, y que por lo tanto el uso de agroquímicos sea totalmente descartado. Lo anterior con el fin de evitar filtraciones y contaminación de las zanjas, con la consecuente afectación a la fauna y flora. Por este motivo, se favoreció la apertura de zanjas y apantles en las chinampas donde sus propietarios estuviesen de acuerdo en apearse al cultivo tradicional y se comprometieran a no utilizar de manera alguna, productos químicos.

La apertura de las zanjas y apantles comenzó en el mes de diciembre, una vez concluido el trabajo de limpieza y barbecho de las chinampas de los señores Anastasio Santana, Abertano Sánchez Flores y Eduardo Rivera. En la chinampa que renta el Sr. Valentín Fosado no fue posible abrir la zanja debido a que el dueño no estuvo de acuerdo.

El trabajo estuvo a cargo de la cuadrilla del Sr. Fidencio Narvae. Se realizó una supervisión continua a fin de cuidar que la pendiente de las zanjas fuera la adecuada para que el agua no quedara estancada en la zanja, sino que hubiera un flujo constante. El método utilizado fue totalmente artesanal con guadaña para la limpieza del terreno y con pala para la apertura de los apantles.

La limpieza de canales consistió en desazolvar el canal respetando sus dimensiones y desyerbar las paredes. La excavación se hizo unos dos metros hacia dentro de la chinampa a fin de dejar un banco de tierra para impedir el paso del agua. La profundidad del apantle se determinó en función del nivel de agua presente en el canal colindante, de manera que la pendiente del apantle permita la entrada del agua hasta el final del mismo. Conforme se alcanzó una profundidad de al

menos 1.3 metros, se midió la inclinación del terreno y se terminó la zanja con la dirección y grados necesarios para que la pendiente del apantle permita la recirculación del agua. Se evitó el uso de maquinaria que potencialmente pudiera contaminar el terreno, además de que el uso de la “mano de chango” no permite definir con precisión la pendiente de la zanja y el grado de compactación del suelo que deja la máquina dificulta la introducción de plantas acuáticas con raíz. En cada zanja se colocó una compuerta y posteriormente se derribó el banco de tierra para permitir el paso del agua.

La medición de las variables limnológicas de las zanjas se realizó una semana después de abierta la zanja y posteriormente cada 15 días.

A continuación se detalla el trabajo de las zanjas que se habilitaron. En total se abrieron 450.18 metros cúbicos de zanjas (Tabla 1).

Tabla 1. Metros cúbicos de cada una de las zanjas trabajadas.

<b><u>Zanjas en las Chinampas</u></b> <b><u>de:</u></b>	<b><u>Perímetro</u></b> <b><u>m</u></b>	<b><u>Volumen</u></b> <b><u>m<sup>3</sup></u></b>
Eduardo	114.64	133.7
Chope	220 m	232
Abertano	84.8 m	84.48
<b><u>TOTAL</u></b>	419.44 m	450.18

*Zanjas ubicadas en la chinampa del Sr. Abertano Sánchez Flores*

Coordenadas: UTM 0491438,2130552 (Tabla 2, Figura 2).

Tabla 2. Zanjas de la chinampa del Sr. Sánchez Flores.

Características	ZANJA CHICA	ZANJA GRANDE
Perímetro (m)	41.6	43.2
Área (m <sup>2</sup> )	20.8	32
Profundidad (m)	1.25 en la compuerta a 1.65 al fondo de la zanja	1.45 en la compuerta a 1.60 al fondo de la zanja



Figura 2. Vista de frente de la chinampa de Don Abertano. La línea del lado izquierdo muestra la ubicación de la zanja grande y la del lado derecho la ubicación de la zanja chica.

a) Zanja chica, ubicada a la mitad de la chinampa. El señalamiento del bordo se refiere a la franja que se dejó mientras se instala la compuerta, para evitar la entrada de tilapia (Figura 3).

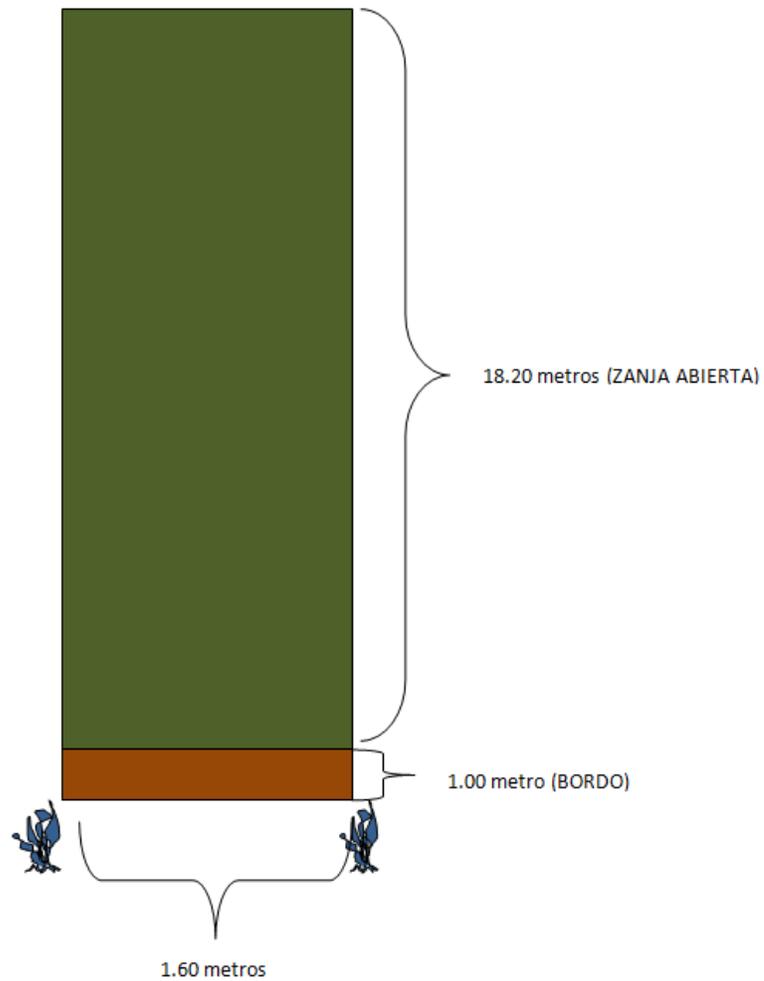


Figura 3. Diseño de la zanja chica.

b) Zanja grande, ubicada del lado izquierdo de la chinampa, viendo de frente (Figura 4).



Figura 4. Diseño de la zanja grande.

Memoria fotográfica de la apertura de las zanjas de la chinampa del Sr. Abertano Flores (Figuras 5- 11).



Figura 5. Zanjas de la chinampa del Sr. Abertano.





Figura 6. Vistas de la zanja chica, antes y después de la limpieza, y trazado de la zanja chica.



Figura 7. Zanja chica terminada.



Figura 8. Inicio de apertura de la zanja grande



Figura 9. Trabajo en la zanja grande.





Figura 10. Revisando la pendiente.



Figura 11. Zanja grande terminada.

## Medición de parámetros fisicoquímicos

La medición de fisicoquímicos se hizo con un equipo HANNA HI9828. La medición en las zanjas del Sr. Abertano comenzó en febrero del presente año debido a que fueron las segundas en habilitarse y se dejaron pasar 10 días antes de la primera medición. La profundidad del agua en estas zanjas es de 25 cm y se ha mantenido desde su apertura.

La variación en la temperatura corresponde a las condiciones climáticas propias de la época del año. El rango observado se encuentra dentro de los parámetros propios del hábitat natural del ajolote (Figura 12).

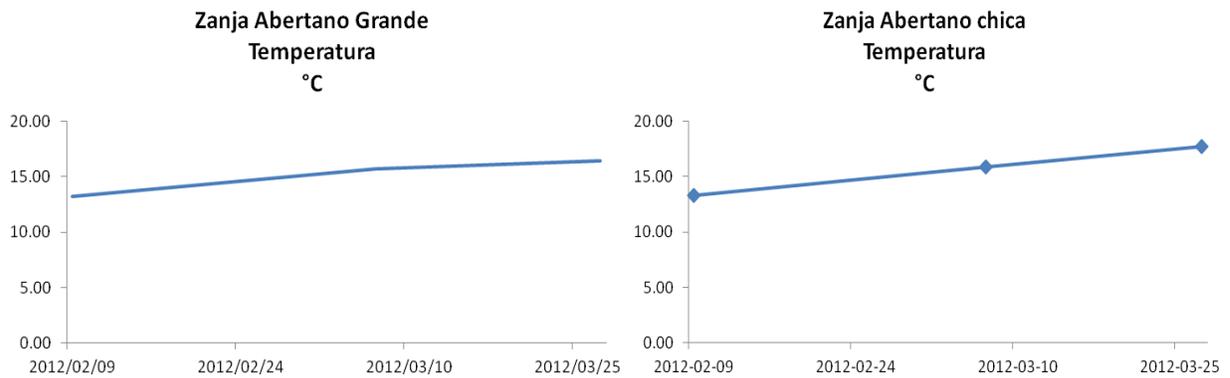


Figura 12. Temperatura de las zanjas grande y chica en distintas fechas.

El oxígeno disuelto presenta una tendencia decreciente, la cual responde a dos condiciones, el aumento de temperatura y poca circulación del agua. Sin embargo, en otros refugios que se han trabajado por un año con ajolotes, se ha observado que este parámetro no es un factor limitante para la sobrevivencia del ajolote. No obstante, si se requiere, puede oxigenarse mediante bombeo a fin de permitir el desarrollo del zooplancton (Figura 13).

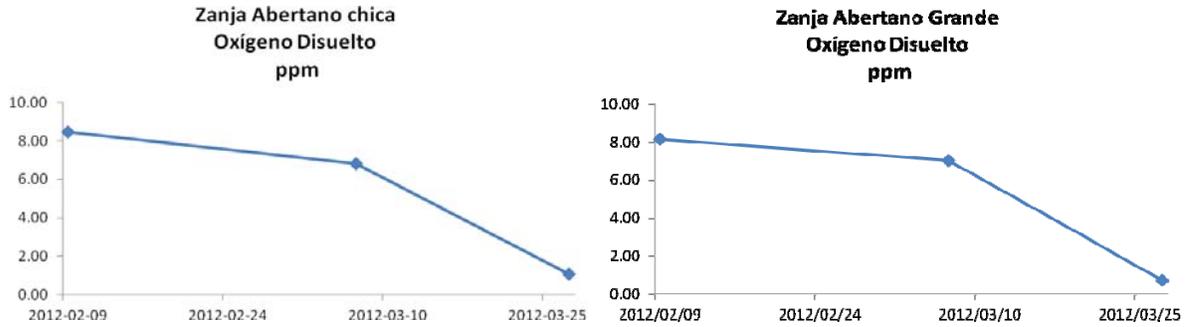


Figura 13. Oxígeno disuelto en las zanjas grande y chica en distintas fechas.

La variación que se observa en el resto de los parámetros medidos, corresponde a un periodo de maduración natural, el cual está influido principalmente por la filtración de sales de la chinampa. Esta condición genera variación en los rangos de pH y conductividad, principalmente y se espera que con la introducción de *Elodea* y *Myriophyllum*, estos parámetros se estabilicen (Figuras 14 y 15)

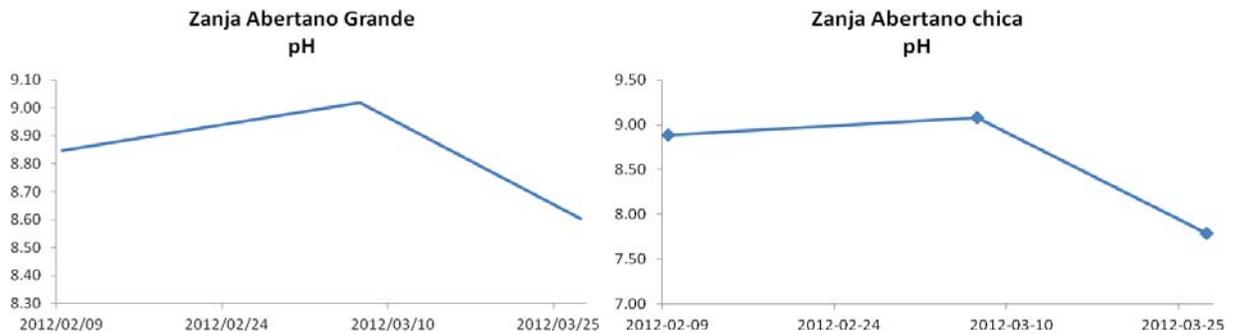


Figura 14. Valores de pH en las zanjas grande y chica en distintas fechas.

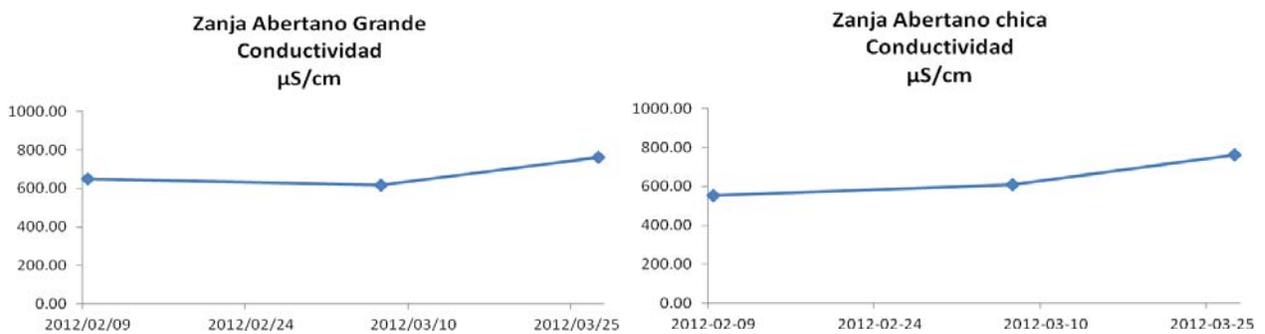


Figura 15. Medición de la conductividad en las zanjas grande y chica en distintas fechas.

El aumento de sólidos disueltos es indicativo de la maduración del agua y probablemente se deba a un aumento de materia orgánica. La introducción de *Myriophyllum* y *Elodea* ayudará a la precipitación de los sólidos (Figura 16).

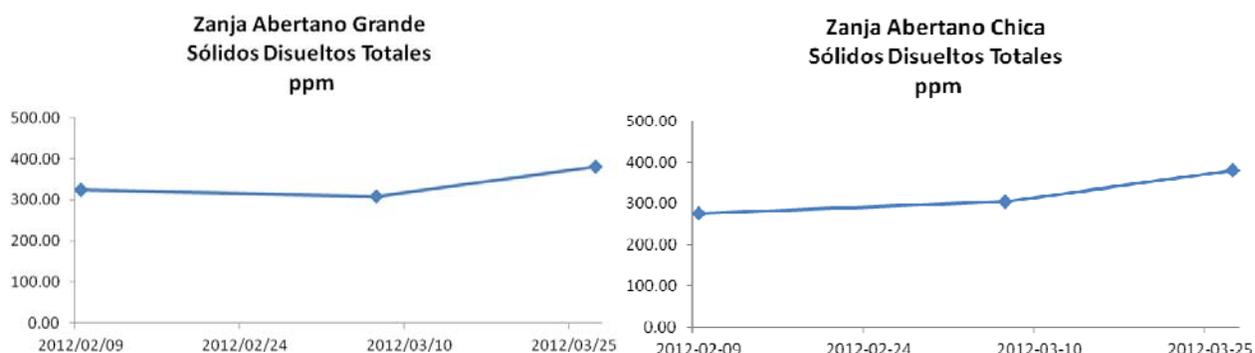


Figura 16. Sólidos disueltos en las zanjas grande y chica en distintas fechas.

En la Tabla 3 se presentan los promedios de los parámetros fisicoquímicos evaluados. Es importante resaltar que se requiere de un mayor número de mediciones a fin de establecer tendencias y patrones a lo largo del año.

Tabla 3. Promedios de parámetros fisicoquímicos evaluados en la zanja grande y en la zanja chica.

Zanja	Fecha	Temperatura °C	pH	OD ppm	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	TDS ppm
Abertano grande	2012/02/09	13.21	8.85	8.15	649.71	324.85
Abertano grande	2012/03/07	15.76	9.02	7.02	619.30	310
Abertano grande	2012/03/27	16.40	8.60	0.72	763	381
Abertano chica	2012/02/09	13.35	8.88	8.46	554.20	277.07
Abertano chica	2012/03/07	15.91	9.08	6.80	611	305.33
Abertano chica	2012/03/27	17.69	7.79	1.07	762	381.29

*Zanjas ubicadas en la chinampa del Sr. Eduardo Rivera*

Coordenadas: UTM 0490735,2130947

Tabla 4. Zanjas de la chinampa del Sr. Eduardo Rivera.

Características	Zanja Ampampilco	Zanja Texhuilo
Perímetro (m)	73.2	41.44
Área (m <sup>2</sup> )	56	33.15
Profundidad (m)	1.5	1.5

Croquis de las zanjas en forma de L (Figura 17).

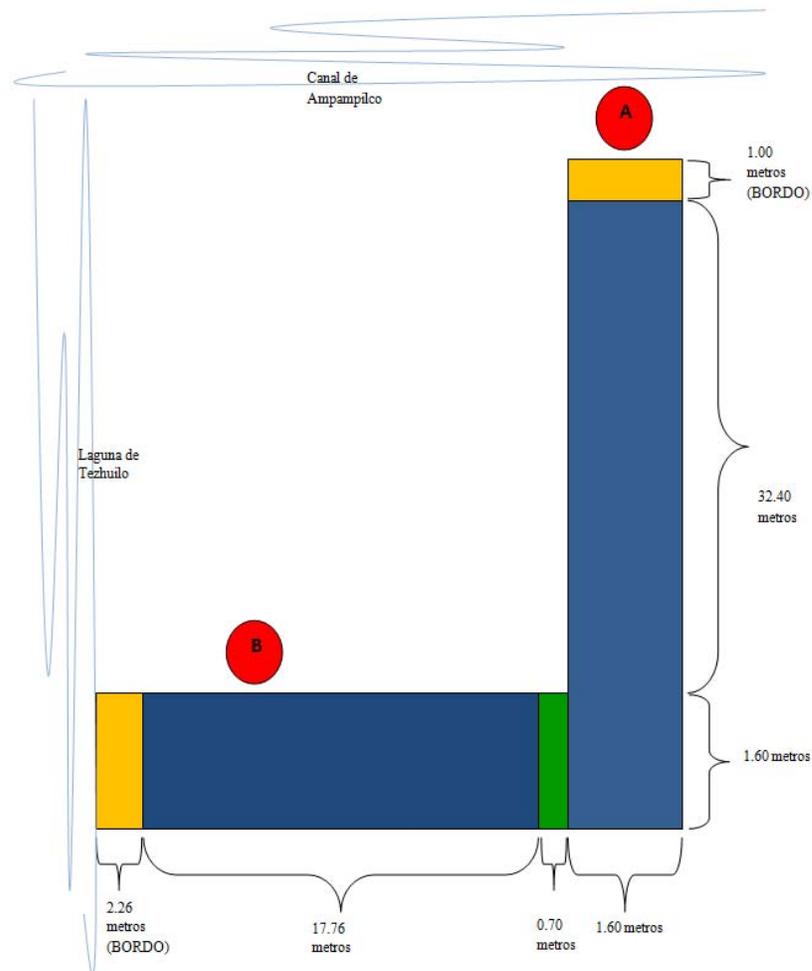


Figura 17. Croquis de las zanjas en forma de L.

## Memoria fotográfica de la apertura de las zanjas



Figura 18. Panorámica del terreno.



Figura 19. Trazado de inicio de la zanja Ampampilco.



Figura 20. Trazado de inicio de la zanja Tezhuilo.



Figura 21. Vista del trazado de ambas zanjas.



Figura 22. Zanja Ampampilco terminada.



Figura 23. Zanja Tezhuilo terminada.

## Medición de parámetros fisicoquímicos

La medición de fisicoquímicos se hizo con un equipo HANNA HI9828, una vez que las compuertas estuvieron instaladas y hubo mezcla de agua. Se dejaron pasar 10 días antes de la primera medición. La medición en las zanjas del Sr. Eduardo comenzó en febrero del presente año para la zanja con entrada en Tezhuilo y a principios de marzo para la zanja con entrada en Ampampilco.

En la zanja con entrada en Ampampilco, la profundidad del agua ha disminuido desde su apertura, hasta un nivel de 18 cm. La zanja con entrada en Tezhuilo, ha mantenido una profundidad de 25 cm.

En ambas zanjas la temperatura presenta un aumento que corresponde a la condición climática propia de la época (Figura 24). El oxígeno disuelto ha disminuido en ambas zanjas en menor proporción que en las zanjas de las chinampas localizadas en canales interiores. Entre ambas zanjas, se observa que la que tiene entrada de agua de la laguna de Tezhuilo la concentración de OD es mayor en comparación con la que tiene entrada del canal de Ampampilco (Figura 25). El constante paso de canoas y lanchas es un factor determinante en la circulación del agua dentro de las zanjas y por lo tanto ha ayudado a mantener niveles de oxígeno adecuados. Por lo tanto, se considera que en estas zanjas no se requiere de bombeo manual.

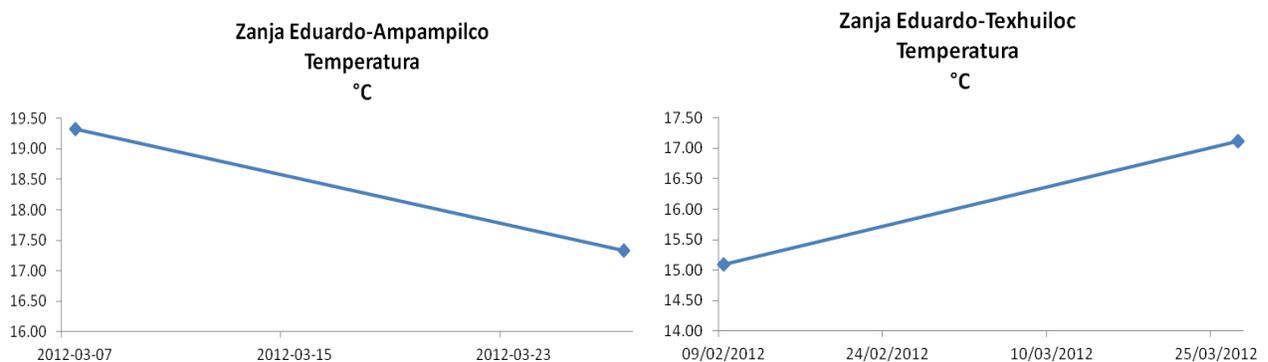


Figura 24. Temperatura en las zanjas Ampampilco y Texhuiloc en distintas fechas.

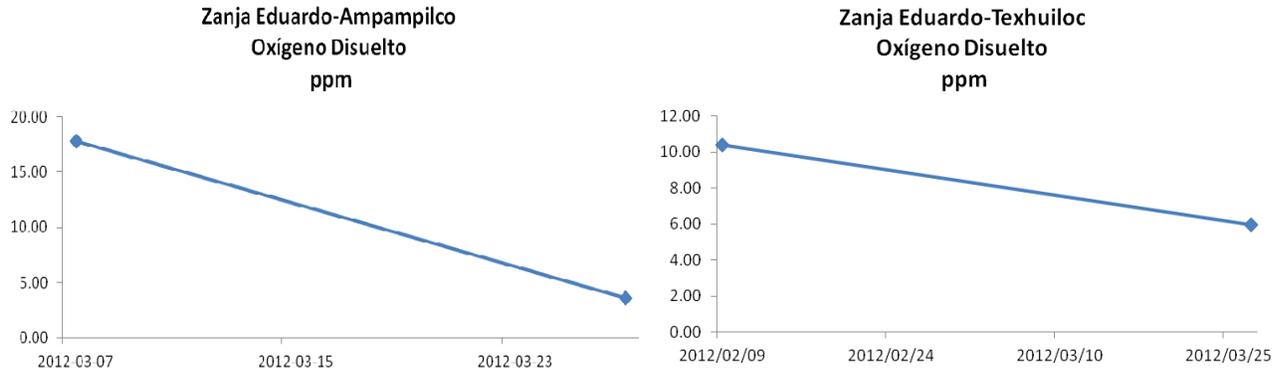


Figura 25. Oxígeno disuelto en las zanjas Ampampilco y Texhuiloc en distintas fechas.

En el caso del pH, la conductividad y los sólidos disueltos, las concentraciones han aumentado debido al lavado de la tierra recién excavada (Figuras 26-28). Se espera que estas variables se estabilicen una vez que las macrófitas acuáticas se hayan aclimatado.

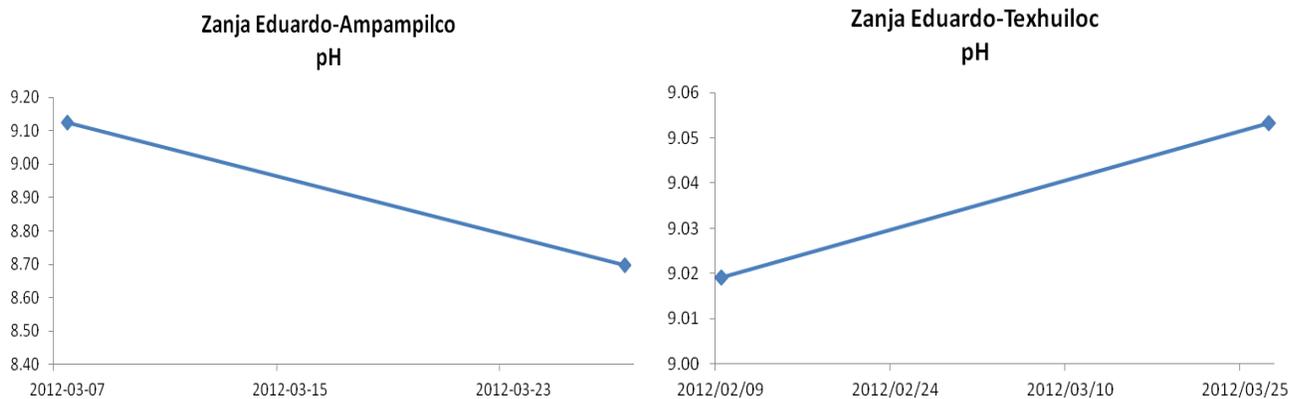


Figura 26. Valores de pH en las zanjas Ampampilco y Texhuiloc en distintas fechas.

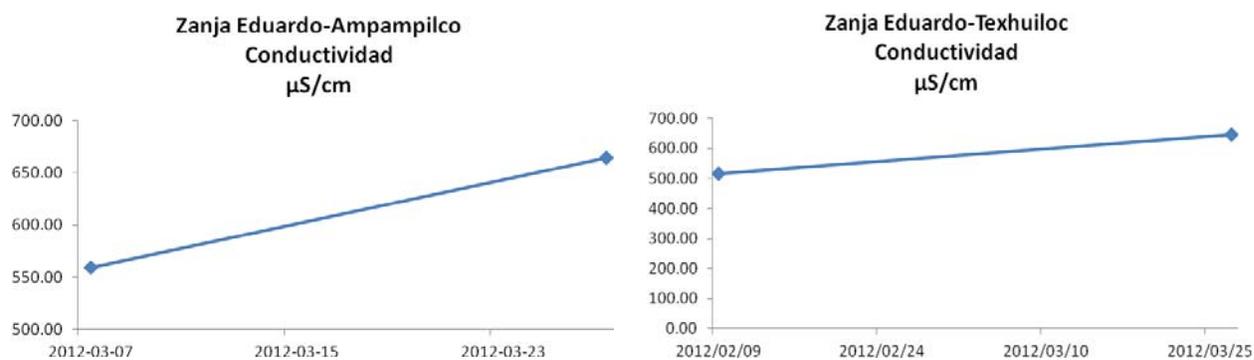


Figura 27. Conductividad en las zanjas Ampampilco y Texhuiloc en distintas fechas.

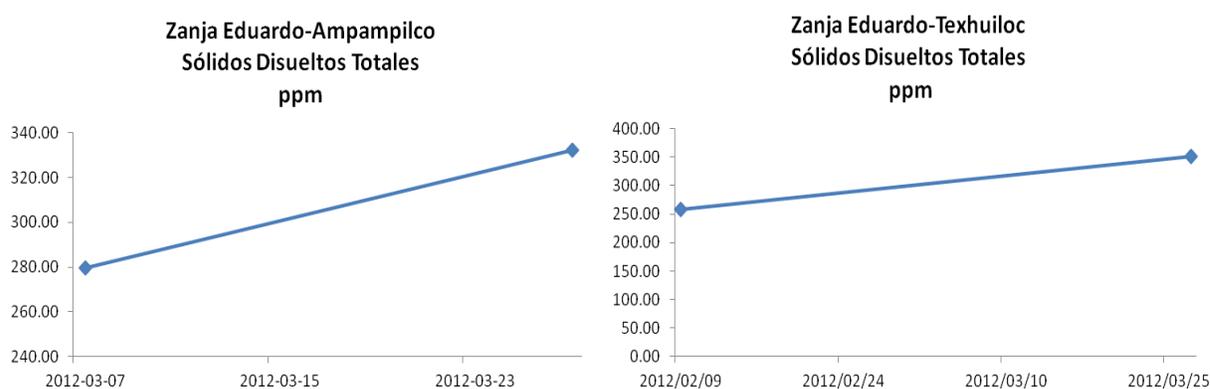


Figura 28. Sólidos disueltos totales en las zanjas Ampampilco y Texhuiloc en distintas fechas.

En la Tabla 5 se presentan los promedios de las variables estimadas para las zanjas del Sr. Eduardo Rivera. En seguida se presentan las gráficas de cada parámetro y para cada zanja.

Tabla 5. Promedios de parámetros fisicoquímicos evaluados en la zanja Tezhuilo y en la zanja Ampampilco.

Zanja	Fecha	Temperatura °C	pH	Oxígeno Disuelto ppm	Conductividad μS/cm	TDS ppm
Eduardo- Texhuilo	2012-02-09	15.10	9.02	10.38	517.46	258.72
Eduardo- Texhuilo	2012-03-27	17.11	9.05	5.95	645.12	350.80
Eduardo-Ampampilco	2012-03-07	19.33	9.12	17.80	559.12	279.68
Eduardo-Ampampilco	2012-03-27	17.33	8.70	3.59	664.58	332.28

*Zanja ubicada en la chinampa del Sr. Anastasio Santana*

Coordenadas: UTM 14 Q 0490809, 2131319

Características: Perímetro, 220 m. Área, 154.65 m<sup>2</sup>. Profundidad, 1.5 m (Figura 29).

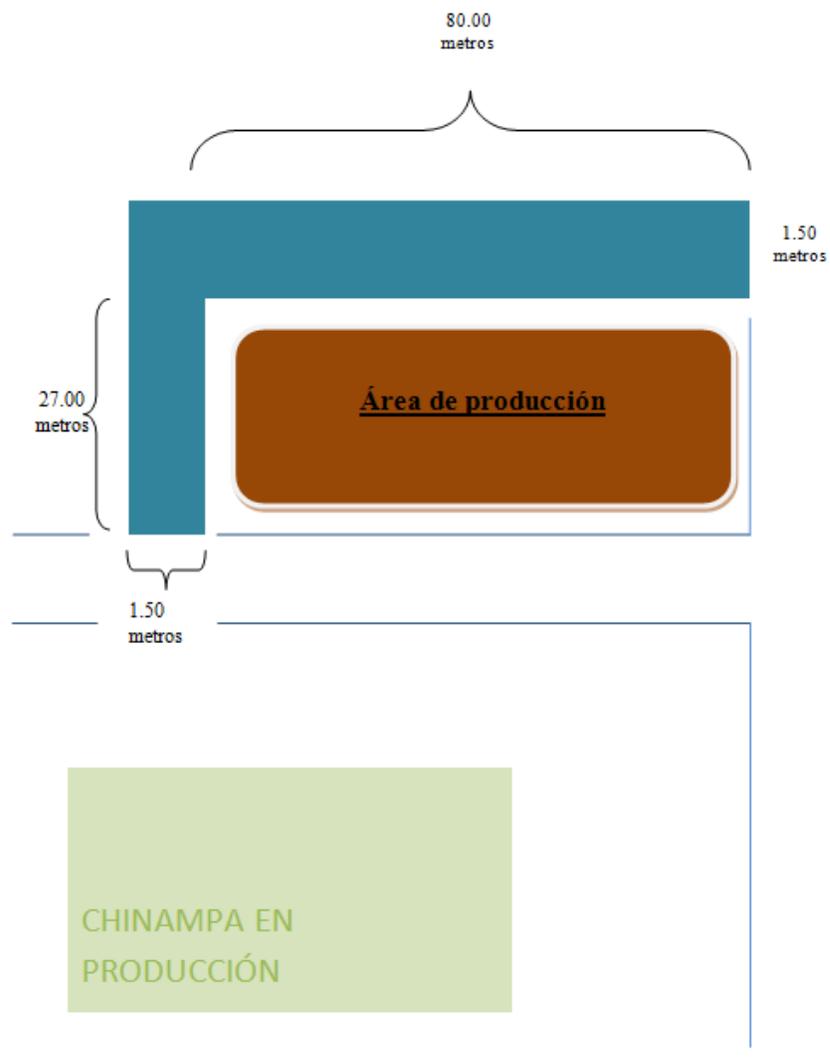


Figura 29. Croquis de la zanja de la chinampa del Sr. Anastasio.

## Memoria fotográfica del proceso



Figura 30. Vistas de la zanja antes de su apertura. Las líneas punteadas indican el trazo original.



Figura 31. Inicio de apertura de zanja. En el círculo se señala el carrizal que se tumbó. Este extremo de la zanja es el punto B de salida con orientación sureste.



Figura 32. La misma zanja ya abierta por completo, una vez retirado el bordo.



Figura 33. Retiro de carrizal.



Figura 34. Aspecto del tular en medio de la zanja y retiro.



Figura 35. Vistas de la zanja en dirección norte.



Figura 36. Recodo.



Figura 37. Saliendo del recodo.



Figura 38. Hacia la entrada en el extremo norte.



Figura 39. La línea punteada señala el extremo norte de la zanja, el cual entronca con un canal que desemboca en la laguna de La Virgen.

### Medición de parámetros fisicoquímicos

La medición de fisicoquímicos se hizo con un equipo HANNA HI9828. La zanja en la chinampa del Sr. Anastasio Santana fue la primera en abrirse debido a que la vegetación dentro de la zanja (tulares) se encontraba bien enraizada después de 25 años de haber estado cerrada.

Esta zanja conecta un canal que desemboca en la laguna de La Virgen, con 6 m de ancho, con un canal interno, de 2.5 m de ancho y poca profundidad. La finalidad de abrir esta zanja era incrementar el flujo de agua hacia el canal interior, el cual abastece a una hectárea de chinampas en producción.

A fin de no disminuir el caudal que pudiese llegar al canal interior, esta zanja no tiene compuertas y no se introdujeron macrófitas.

En este caso, si bien la temperatura ha aumentado conforme a la época del año, el oxígeno presenta concentraciones apropiadas para la vida acuática (Figura 40). El pH también se encuentra en rangos bastante aceptables, y la conductividad y los sólidos disueltos, presentan una tendencia a la baja (Figura 41).

Se considera que el mantenimiento de esta zanja, consistente en no permitir su azolvamiento, pues ayudará a mejorar la calidad del agua de los canales y zanjas adyacentes a la chinampa en producción del Sr. Anastasio Santana.

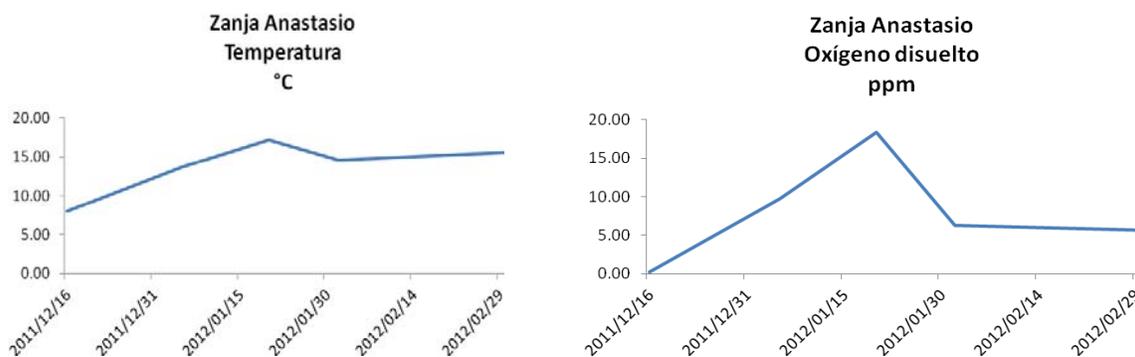


Figura 40. Temperatura y oxígeno disuelto de la zanja en distintas fechas.



Figura 41. Valores de pH, conductividad y sólidos disueltos de la zanja en distintas fechas.

En la Tabla 6 se presentan las mediciones obtenidas desde mediados de diciembre y posteriormente las gráficas de cada parámetro.

Tabla 6. Promedios de parámetros fisicoquímicos evaluados en la zanja del Sr. Anastasio Santana.

Zanja Anastasio	Fecha	Temperatura °C	pH	Oxígeno Disuelto ppm	Conductividad µS/cm	TDS ppm
Zanja Anastasio	2011-12-16	7.99	7.37	0.18	912.05	456.03
Zanja Anastasio	2012-01-05	13.76	8.14	9.70	617.06	308.55
Zanja Anastasio	2012-01-20	17.19	9.45	18.36	559.27	279.74
Zanja Anastasio	2012-02-01	14.54	8.28	6.27	647.85	323.95
Zanja Anastasio	2012-03-07	15.76	8.28	5.53	601.33	300.68

### 1.1.3 Reforzamiento de las paredes de los apantles con estacado.

Ver Anexo 4.

### 1.1.4 Construcción y colocación de compuertas

La finalidad de la instalación de compuertas es evitar la entrada de especies introducidas como la carpa y la tilapia, así como el manejo de variables como la concentración de metales pesados y sales, mediante la siembra de macrófitas acuáticas sumergidas y flotantes, como la Elodea y el lirio acuático.

La dimensión de cada compuerta dependió del ancho de la zanja, y la profundidad a la que se encuentra la zanja. La malla que se utilizó es malla-sombra al 70%.

La instalación de las compuertas se inició una vez que las zanjas quedaron completamente detalladas y reforzadas. En la chinampa del Sr. Anastasio Santana la zanja comunica un canal ancho con flujo continuo y buen nivel de agua proveniente de la laguna La Virgen y desemboca en un canal angosto poco profundo que surte de agua a una chinampa en producción. A fin de no obstaculizar el flujo de agua, en esta zanja no se instalaron compuertas. En total se instalaron cuatro compuertas en las chinampas del Sr. Abertano Sánchez (Figura 42) y en la chinampa del Sr. Eduardo Rivera (Figuras 43 y 44).



Figura 42. Compuertas terminadas en la zanja grande y en la zanja chica de la chinampa del Sr. Abertano.



Figura 43. Colocación de compuertas en zanja y retiro de bordo en la chinampa del Sr. Eduardo Rivera.



Figura 44. Compuertas de zanjas en la chinampa del Sr. Eduardo Rivera.

### *1.1.5 Colecta de especies nativas de plantas*

Se permitió reposar el agua de la zanja, se bombeó agua de los canales a la zanja para renovarla. Se evaluó la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua y una vez estables, se introdujeron las macrófitas acuáticas.

La colecta de macrófitas acuáticas se realizó en las zonas más alejadas de áreas urbanas y de invernaderos (Figura 45-48).

Las plantas que se utilizaron para la filtración del agua de los apantles son la Elodea (*Egeria densa*, Familia Hydrocharitaceae), el lirio acuático (*Eichornnia crassipes*) y la cola de zorro (*Myriophyllum aquaticus*). Esta actividad se llevó a cabo en el mes de marzo (Figuras 49 y 50).



Figura 45. Canal Puente de Urrutia, zona de colecta de macrófitas acuáticas.

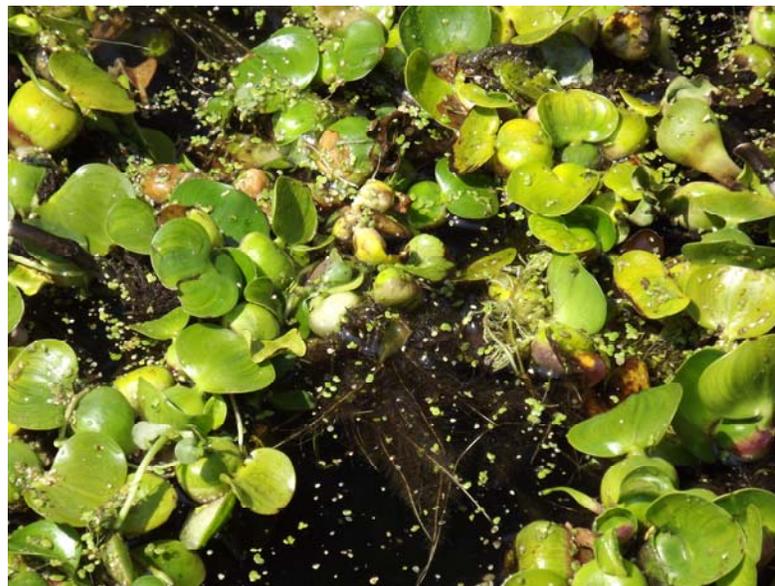


Figura 46. Se aprecia la raíz del lirio gracias a la transparencia del agua.



Figura 47. Manchón de *Myriophyllum aquaticum* en buenas condiciones.



Figura 48. Transporte de plantas en la zona de colecta.



Figura 49. Siembra en las zanjas chica y grande del Sr. Abertano.



Figura 50. Siembra en las zanjas de la chinampa del Sr. Eduardo.

### 1.1.6 Colectas de peces y acociles

Se colectaron peces y acociles a cargo de un pescador local y un técnico del laboratorio de Restauración Ecológica, quien evaluó el momento apropiado para llevar los peces nativos (*Menidia jordanii*, *Godea atripinnis*, *Heterandria bimaculata*) y acociles al apantle (Figuras 51-53).

En particular, se consideraron parámetros como la conductividad, el oxígeno disuelto y el pH y se harán mediciones periódicas para evaluar la viabilidad del refugio en términos biológicos, realizando siembras paulatinas de organismos de especies nativas (charales y acociles). Estas

siembras dependerán del tamaño del refugio y del éxito del establecimiento de las especies nativas.

Antes de traslocar ejemplares de ajolote será necesario que el refugio cuente con las condiciones ideales para asegurar su sobrevivencia, para lo cual se realizará una colecta de los organismos acuáticos presentes en el apantle.



Figura 51. Los acociles fueron colectados por medio de una red de golpeo, se muestrearon zonas con abundante vegetación acuática.



Figura 52. Los acociles fueron separados y colocados en un recipiente para su transporte.



Figura 53. Los acociles fueron trasladados a los refugios.

1.2. En la evaluación de la unidad ambiental chinampa/apantle como un modelo conceptual experimental se rehabilitarán 900 m<sup>2</sup> de chinampa adyacente a los refugios para el uso de agricultura tradicional.

La chinampa es un agro-sistema cuyo principio funcional es la interrelación agua-suelo-hombre y el trabajo continuo es el factor principal para su mantenimiento a largo plazo. Minimizar alguno de estos componentes significaría pérdida de tiempo y dinero, ya que como en toda acción de rehabilitación, sin la participación consensuada de los chinamperos, será muy difícil lograr una rehabilitación a largo plazo.

El área total preparada para el cultivo fue siete veces superior a lo comprometido para este proyecto, como se puede comprobar en el desglose en la Tabla 7.

Tabla 7. Área total para el cultivo.

<b><u>Chinampa</u></b>	<b><u>Medida</u></b>
Eduardo	2, 240 m <sup>2</sup>
Chope	2, 160 m <sup>2</sup>
Abertano	1, 650 m <sup>2</sup>
Valentín	486 m <sup>2</sup>
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>6, 536 m<sup>2</sup></b>

### *1.2.1 Limpieza, barbecho y estacado de las chinampas*

La rehabilitación de las chinampas seleccionadas consistió en limpiar de maleza el terreno con guadaña, machete y azadón. Posteriormente, el rastrojo puede amontonarse en la orilla para su incorporación paulatina por degradación al suelo de la chinampa o se utiliza en la producción de abonos orgánicos.

El barbecho se hizo de 30 a 50 cm de profundidad, con el fin de permitir una buena aireación, aflojar la tierra y retirar las raíces del pasto.

El trabajo de limpieza y barbecho de las chinampas lo llevó a cabo una cuadrilla de trabajo de cinco personas, a cargo del Sr. Fidencio Narvae Vicente (Figura 54).



Figura 54. Limpieza de la chinampa, equipo del Sr. Fidencio Narvae, 26 de octubre de 2011.

La ubicación y datos de los propietarios de las chinampas del paraje Tezhuilo que se rehabilitaron, son los siguientes:

1) Sr. Abertano Sánchez Flores, de 85 años, procedente del Barrio La Santísima. La ubicación de su chinampa en coordenadas UTM es 0491438,2130552 (Figuras 56-58).

La limpieza y barbecho de su chinampa inició el 21 de octubre y finalizó el 29 de octubre.

El área total es de  $1650.4 \text{ m}^2$ . El croquis de la chinampa se presenta a continuación (Figura 55).

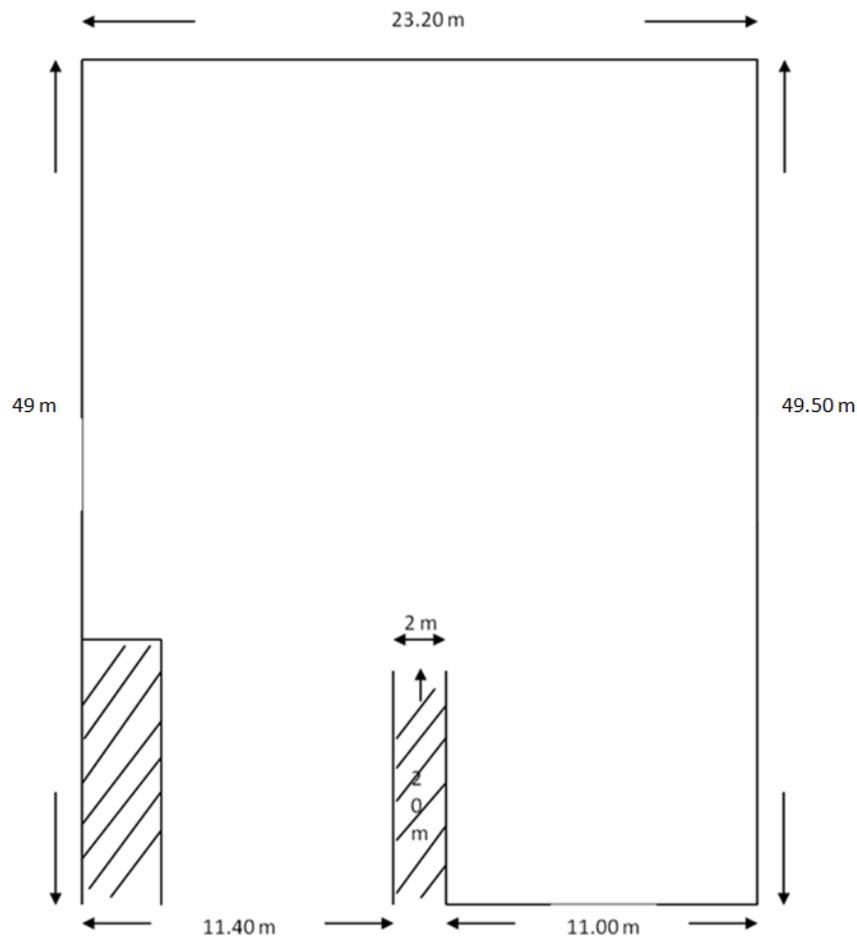


Figura 55. Croquis de la chinampa del Sr. Abertano.



Figura 56. Sr. Pablo Sánchez, hijo del Sr. Abertano frente a su chinampa antes de la limpieza y barbecho, el 12 de octubre de 2011.



Figura 57. Detalles del barbecho en la chinampa del Sr. Abertano, 28 de octubre de 2011.



Figura 58. Limpieza y barbecho concluido. 14 de noviembre de 2011.



Figura 59. Visita de supervisión del Ingeniero Juan Manuel Zacahula de CORENA, el 14 de noviembre de 2011.

2) Sr. Valentín Fosado, de 50 años, procedente del canal Tezhuilo. La ubicación de su chinampa en coordenadas UTM es 0490572,2130495. La limpieza y barbecho de su chinampa inició el 8 de noviembre y finalizó el 11 de noviembre (Figuras 61-63). El área recuperada es de 486 m<sup>2</sup>. El croquis de la chinampa se presenta a continuación (Figura 60).

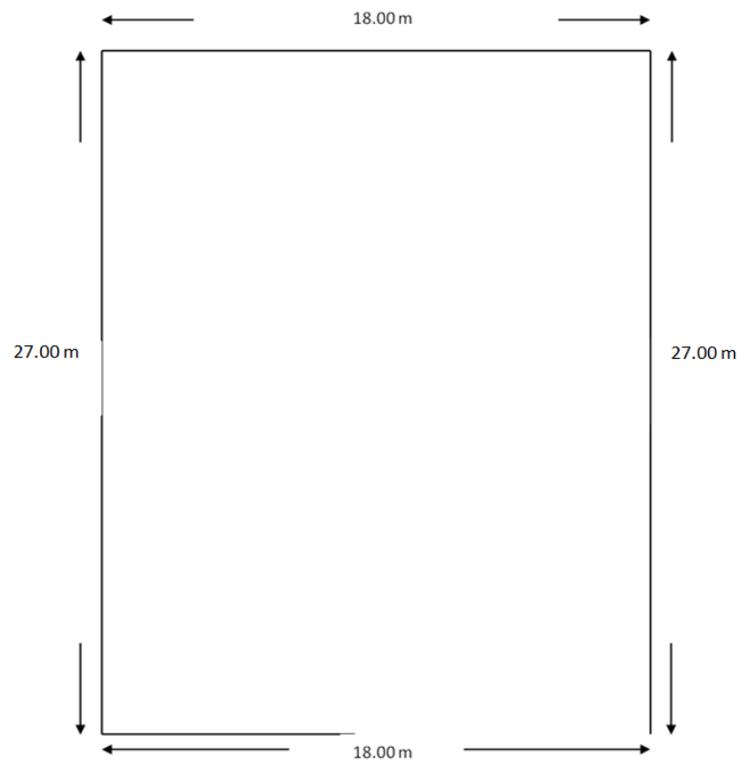


Figura 60. Croquis de la chinampa del Sr. Valentín.



Figura 61. Chinampa del Sr. Valentín Fosado antes de la limpieza, 8 noviembre de 2011.



Figura 62. Limpieza y barbecho del terreno del Sr. Valentín, 9 de noviembre de 2011.



Figura 63. Chinampa concluida del Sr. Valentín Fosado, 14 de noviembre de 2011.

3) Sr. Eduardo Rivera, 45 años, originario de Xochimilco. Su chinampa se ubica frente a la laguna Tezhuilo, en las coordenadas UTM 0490735,2130947 (Figuras 65 y 66).

El área total de esta chinampa es de 2,240 m<sup>2</sup>.

El croquis del área limpia y barbechada se muestra a continuación (Figura 64):

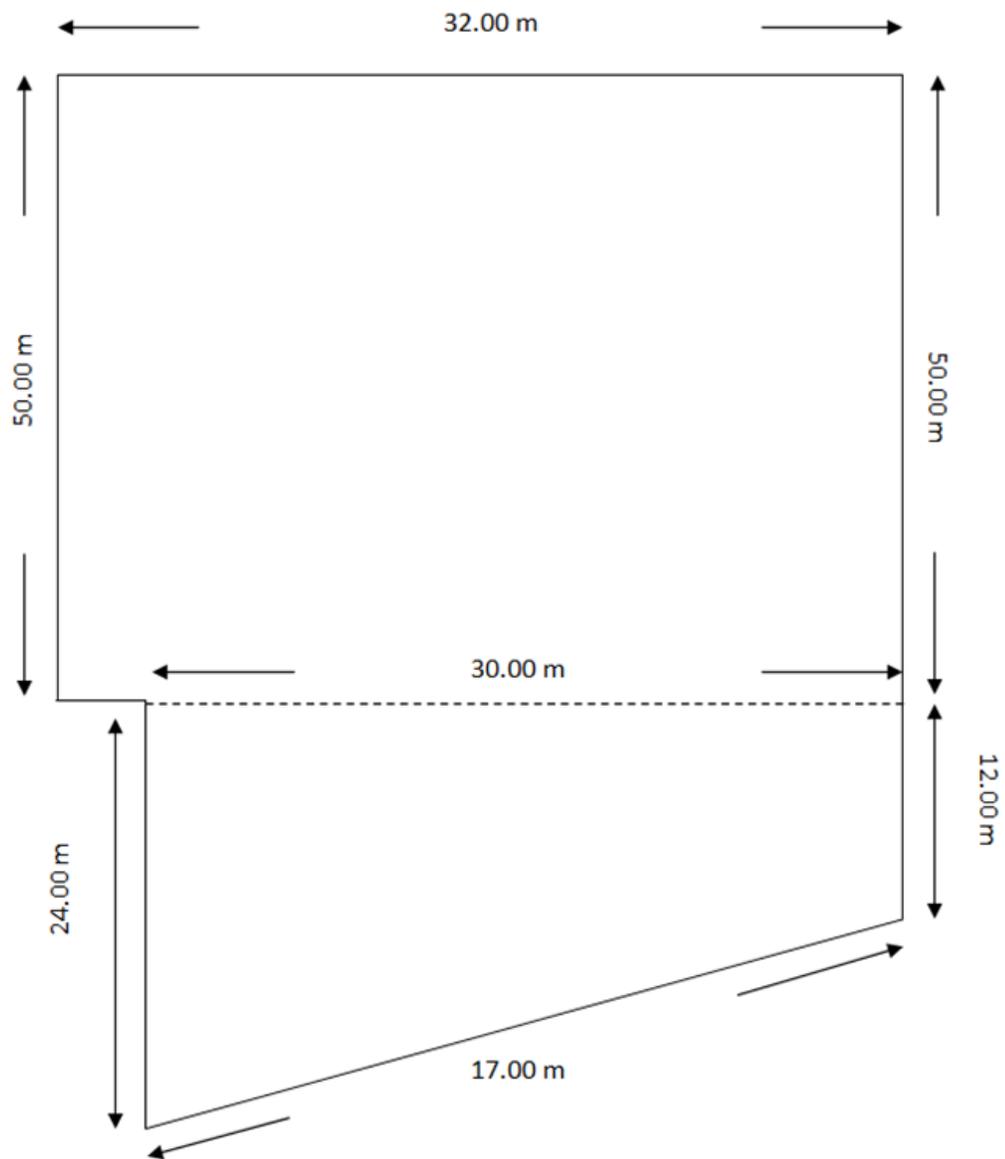


Figura 64. Croquis de la chinampa del Sr. Eduardo.



Figura 65. Vistas de la chinampa del Sr. Eduardo antes de la limpieza, 12 de octubre de 2011.



Figura 66. Vistas de la chinampa terminada del Sr. Eduardo, 17 de noviembre de 2011.

4) Sr. Anastasio Santana, 56 años, originario del barrio La Asunción, Xochimilco. Las coordenadas de la chinampa son: UTM 14 Q 0490809, 2131319 (Figura 68-70). El área total de esta chinampa es de 2160 m<sup>2</sup>.

El croquis de la chinampa se presenta a continuación (Figura 67).

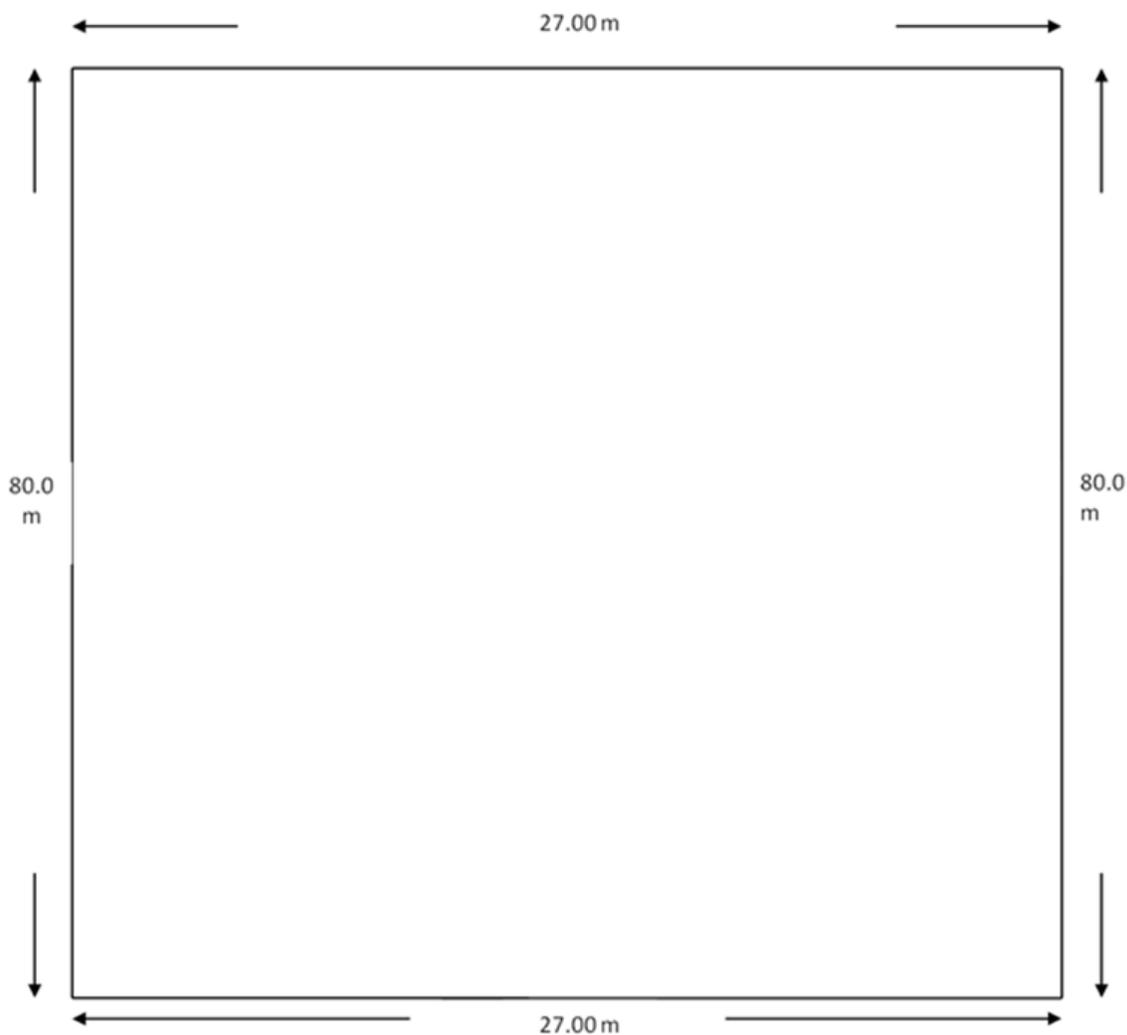


Figura 67. Croquis de la chinampa del Sr. Anastasio.



Figura 68. Delimitación del perímetro.



Figura 69. Limpieza y barbecho del terreno.



Figura 70. Chinampa terminada.

### *1.2.3. Elaboración de 8 toneladas de abonos orgánicos fermentados*

Con la finalidad de rehabilitar espacios de producción agrícola en la zona lacustre, validar tecnología, propiciar la elaboración y uso de insumos que preserven el ecosistema lacustre de Xochimilco y se mejore la producción agrícola, se elaboró abono orgánico fermentado. Éste es el resultado de un proceso de semi-descomposición aeróbica realizada por microorganismos existentes en los ingredientes con los cuales se elabora el abono. El proceso de elaboración fue controlado para evitar aumentos excesivos de temperatura y favorecer la oxigenación constante de la mezcla.

Este abono fue elaborado con a finalidad de proporcionarlo a los productores con quienes se hizo un acuerdo previo para realizar trabajo conjunto. Los predios en los que se realizarán pruebas están mencionados en la sección 1.2 y en estos se realizarán evaluaciones con diversos cultivos, según el interés de cada productor.

El periodo de elaboración depende principalmente de las condiciones de temperatura ambiental, siendo el proceso más rápido en primavera- verano y más lento en otoño-invierno, el periodo puede variar entre 15 y 30 días.

La elaboración de este tipo de abonos tiene múltiples ventajas. Entre las principales se encuentran:

- Los materiales se consiguen localmente.
- Activan rizobacterias promotoras de crecimiento y bioprotección.
- Se autorregulan agentes patógenos en la tierra por medio de inoculación biológica natural.
- Su elaboración y aplicación no presenta riesgos para el ambiente y salud de productores y consumidores.
- Mejora la permeabilidad de los suelos, aireación y porosidad.
- Favorece la colonización del suelo por la macro y micro vida en las capas mas profundas.
- Favorecen la biodiversidad de la fauna y flora, contribuyendo a la estabilidad ambiental.

### Ingredientes

Los ingredientes pueden variar y están condicionados por el lugar donde se elaboran los abonos. En algunos centros de producción de café, la cascarilla es utilizada como uno de los ingredientes principales. En las zonas productoras de arroz, la cascarilla del mismo puede ser utilizada.

En este caso los ingredientes para elaborar los abonos orgánicos son:

- Pacas de avena sin semillas
- Estiércol de equino
- Levadura
- Piloncillo
- Carbón
- Ceniza
- Cal

## Elaboración

El proceso inició con la búsqueda y obtención de insumos (Figura 71). Posteriormente, se trasladaron a la chinampa destinada para elaborar el abono donde comenzó el proceso de producción que consiste en extender las pacas de avena, extraer tierra, cernirla y agregarla sobre la avena, incorporar el estiércol de caballo sobre la tierra (Figuras 72 y 73), agregar el carbón y la cal, mezclar los ingredientes en seco, triturar el piloncillo y mezclarlo con la levadura hasta obtener una mezcla líquida homogénea que se incorpora sobre los ingredientes previamente extendidos y mezclados agregando agua suficiente para humedecer la mezcla. Es así que el abono comenzó el proceso de fermentación y degradación (Figura 74). La temperatura comenzó a elevarse y se monitoreó constantemente evitando que rebasara 60°C volteando una o dos veces por día hasta que la temperatura se estabilizó aproximadamente después de 15 días.



Figura 71. Traslado de pacas de avena y estiércol para preparación de abono orgánico fermentado



Figura 72. Descarga de estiércol de equino para preparación de abono orgánico fermentado.



Figura 73. Aspecto del estiércol con paja, elementos base del abono orgánico fermentado.



Figura 74. Abono orgánico fermentado en proceso de maduración.

### Aplicación

La aplicación de este tipo de abonos puede ser variada y depende de tipo de cultivo que se desea establecer. Las dosis van desde 25 hasta 500 gramos por planta, generalmente se aplica incorporando un poco de abono y tierra en el espacio donde se colocan las plántulas (Figura 75). Entre el décimo y décimo segundo día de establecido el cultivo se realiza abonado complementario a un costado de las plantas, pudiéndose repetir esta operación hasta cinco o seis

veces dependiendo el ciclo de vida del cultivo y el desarrollo observado durante el periodo de crecimiento.



Figura 75. Forma de aplicar abonos orgánicos fermentados en hortalizas.

#### 1.2.4 Elaboración de 1500 litros de Biofertilizante

Para complementar la nutrición de cultivos donde se aplican abonos orgánicos fermentados se elaboran biofertilizantes fermentados a base de estiércol de bovinos. Este tipo de fertilizantes son abonos líquidos capaces de aportar macro y micronutrientes a los cultivos y compensar deficiencias en la nutrición, además contribuyen a nutrir, recuperar y reactivar la vida de los suelos, estimulan la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades.

Existen dos métodos de preparación:

Uno de ellos consiste en cerrar herméticamente el contenedor para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica. Como resultado se tendrá un abono líquido en concentraciones muy altas.

En el segundo método, el biofertilizante puede estar expuesto a procesos de producción aeróbica pero deberá incorporarse agua oxigenada al preparado.

El periodo de elaboración depende principalmente de las condiciones de temperatura ambiental, siendo el proceso más rápido en primavera- verano y más lento en otoño-invierno. El periodo puede variar entre 20 y 45 días, y la temperatura ideal para su preparación se encuentra entre los 38 y 40°C.

## Ingredientes

Los ingredientes base siempre son los mismos, sin embargo, pueden agregarse diversas sales minerales para enriquecer la preparación y obtener un mayor concentrado de nutrientes.

En este caso los insumos necesarios para elaborar los biofertilizantes son (Figura 76):

- Seis contenedores de plástico de 250 litros c/u
- Estiércol de bovinos
- Agua potable
- Leche fresca
- Piloncillo
- Ceniza



Figura 76. Contenedores de plástico para la elaboración de biofertilizante y piloncillo para la fermentación.

## Elaboración

En un recipiente de plástico se colocan 125 litros de agua potable, 63 kg de estiércol fresco de bovino, 5 kg de ceniza y se revuelve hasta lograr una mezcla homogénea. En una cubeta con 13 litros de agua se disuelven 2.5 litros de leche o 5 litros de suero y 4 kg de piloncillo, y se agregan al recipiente donde se encuentra el estiércol. Se aplican 5 ml de agua oxigenada y se revuelve diariamente por periodo de 15 días en caso de proceso aeróbico. Para el fertilizante resultado de proceso anaeróbico no se utiliza agua oxigenada y el recipiente se cierra herméticamente colocando una manguera para la expulsión de gases.

## Aplicación

Es recomendable realizar las aplicaciones por la mañana hasta las 10 a.m. y por la tarde después de las 4 p.m. pues las plantas asimilan mejor el biofertilizante. La aplicación se realiza preferentemente en el envés de las hojas, también puede aplicarse directamente sobre el suelo o en los abonos. Las concentraciones y periodos de aplicación varían dependiendo el tipo de cultivo, las concentraciones pueden variar entre el 3% y 7%.

### 1.3. Elaborar el documento “Evaluación de la unidad ambiental chinampa/apantle como vía para la conservación del ajolote y otras especies nativas en Xochimilco.

La unidad ambiental chinampa/apantle como vía para la conservación es una aproximación innovadora que busca restaurar a largo plazo la calidad del socio-ecosistema de Xochimilco. Esto tendrá como resultado una mejor calidad del agua de los canales, un aumento en la sobrevivencia de las especies nativas como los ajolotes, reducir las poblaciones de especies exóticas y fomentar la cultura chinampera como una actividad sustentable. En el presente estudio, se analizó la calidad del agua disponible en diferentes zonas de Xochimilco, para conocer si estos sitios ofrecen las condiciones mínimas necesarias que permitan el establecimiento de refugios para la conservación del ajolote (*Ambystoma mexicanum*). El documento se encuentra en el Anexo 1 y lleva por nombre: “Evaluación de la Unidad Ambiental Chinampa Apantle”.

### 1.4. Elaborar el documento “Estudio de mercado de la viabilidad comercial de los productos chinamperos de Xochimilco”.

Con el objetivo de conocer cuáles son las posibilidades de la introducción y crecimiento de los productos agrícolas orgánicos provenientes de la zona chinampera de Xochimilco, se presenta un estudio que señala cuál es el estatus de la producción y el consumo de dichos productos en México. Asimismo, se investigó cuáles son los retos y oportunidades que tiene para lograr una

participación en el mercado. El documento se encuentra en el Anexo 1 y lleva por nombre: “Estudio de Mercado”.

### Aplicación de los recursos en caso de grupos u organizaciones.

Directos:

- 2 pescadores
- 6 chinamperos
- 6 estudiantes
- 7 jornaleros

Indirectos:

- 18 familiares de los chinamperos
- 6 familiares de los pescadores
- 25 familiares de los jornaleros

## 2. Implementación del programa de reducción de carpas y tilapias mediante la pesca intensiva

Se consideran como especies exóticas a todas aquellas especies que no evolucionaron o llegaron a Xochimilco por vías naturales. El hecho de que la mayoría de las personas desconozcan los efectos potenciales de la introducción de especies exóticas en un sistema hace a esta actividad mucho más peligrosa. Además, estas consecuencias se pueden generar mucho tiempo después de haber realizado la introducción.

En Xochimilco existe sobre-abundancia de peces exóticos. Los efectos de los organismos que fueron introducidos para la acuicultura como las tilapias (*Oreochromis mossambicus* y *Tilapia nilotica*) y las carpas (*Cyprinus carpio* y *Pterorigodon idella*) se detectaron casi 10 años después de su última introducción.

Tanto la carpa como la tilapia son depredadores de los ajolotes (Contreras *et al.*, 2009). Además, existe una posible competencia por alimento, ya que las especies exóticas ocupan el mismo nicho trófico que todas las especies nativas (Zambrano *et al.*, 2010). Por lo tanto, es más difícil entender cuál es la causa por la que un sistema está deteriorado. Los efectos que una especie exótica puede provocar dentro de un sistema durarán el tiempo en el que la especie sobreviva ahí que, por lo general, es para siempre.

Los efectos de las carpas y de las tilapias son notorios cuando las densidades de las poblaciones llegan a ser altas. Ambas pueden ablandar las paredes de las chinampas y éstas se van deslavando hacia el agua. En un estudio realizado recientemente en Xochimilco por la U.N.A.M. (Zambrano *et al.*, 2010), se cuantificó que había 90 veces más biomasa de carpas y tilapias que de todas las especies nativas juntas. El crecimiento drástico de las poblaciones de las especies exóticas en Xochimilco sugiere que el sistema puede colapsarse y generar muertes masivas. Por lo tanto, la necesidad de llevar a cabo un proyecto de extracción de especies exóticas es fundamental para la rehabilitación ambiental de Xochimilco.

## 2.1 Extracción de 50 toneladas de carpas y tilapias

### 2.1.1. Fabricación de redes especiales para la pesca en Xochimilco.

Se fabricaron tres redes de 80 m de largo y 25 m de ancho con dos paredes de 175 y 120 m con una caída de 3 metros. Todas las redes tienen una luz de malla de una pulgada (Figura 77). A este tipo de red se le denomina “red de calcetín” por su forma de saco alargado. La red de calcetín fue diseñada especialmente para la pesca en Xochimilco en proyectos previos de extracción de peces exóticos en el sitio. La morfología natural de los canales de Xochimilco (angostos y largos) obligó a generar una red pasiva que evitara que los ajolotes fueran capturados y que, a su vez, se pudiera capturar a las especies de peces exóticos.

Este diseño único fue creado en conjunto por pescadores de Xochimilco y académicos de la U.N.A.M. Debido a que la forma de la red es únicamente eficiente en Xochimilco, no existe en el mercado, por lo que fue necesario que los mismos pescadores la tejieran.

Las redes fueron elaboradas por los mismos 22 pescadores que participan en la pesca intensiva. La red se tejió a partir de 20 paños de monofilamento calibre 0.40 mm de una pulgada de luz de malla y un tamaño de 200 x 100 m. Se incluyen además 10 paños de monofilamento calibre 0.25 mm de una pulgada de luz de malla y un tamaño de 100 x 100. La red se elabora utilizando 200 kg de plomo, 80 kilos de lazo, 300 boyas alargadas, 30 carretes de monofilamento calibre 0.40 mm y 30 carretes de hilo guía de monofilamento negro.

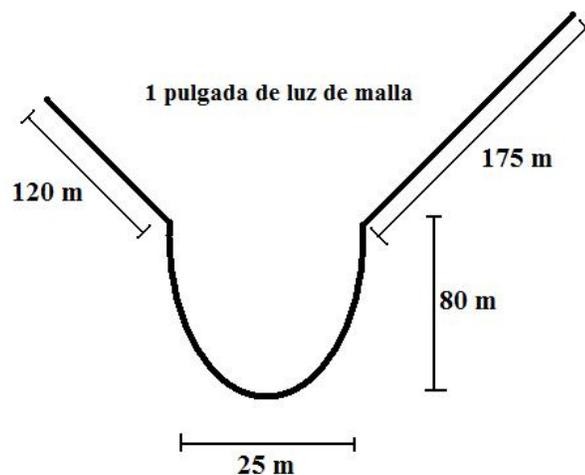


Figura 77. Diagrama de la red de calcetín y sus dimensiones, utilizada para la pesca intensiva.

### 2.1.2. Extracción de carpas y tilapias

La extracción consiste en tender la red y “arrear” al pescado desde una distancia de entre 50 y 200 metros golpeando la superficie del agua con tubos de metal y el fondo con remos. Una vez que se “arrea” el pescado, se levanta la malla y se vierte el pescado en una canoa. El procedimiento de pesca puede verse claramente en las fotografías (Figura 79) y en el video por medio de la siguiente dirección electrónica: <http://youtu.be/pBfNHwpw1JQ>

La extracción se llevó a cabo en seis canales de Xochimilco con el objetivo de maximizar la captura (Figura 78). Los pescadores se dividieron en dos grupos de 11 personas. Cada grupo realizó tres lances por día. En el periodo comprendido entre el 5 de octubre y el 16 de diciembre de 2011 se extrajeron 50,170.7 kilogramos de tilapias y carpas que corresponden aproximadamente a 407,020.2 organismos (Tabla 8).

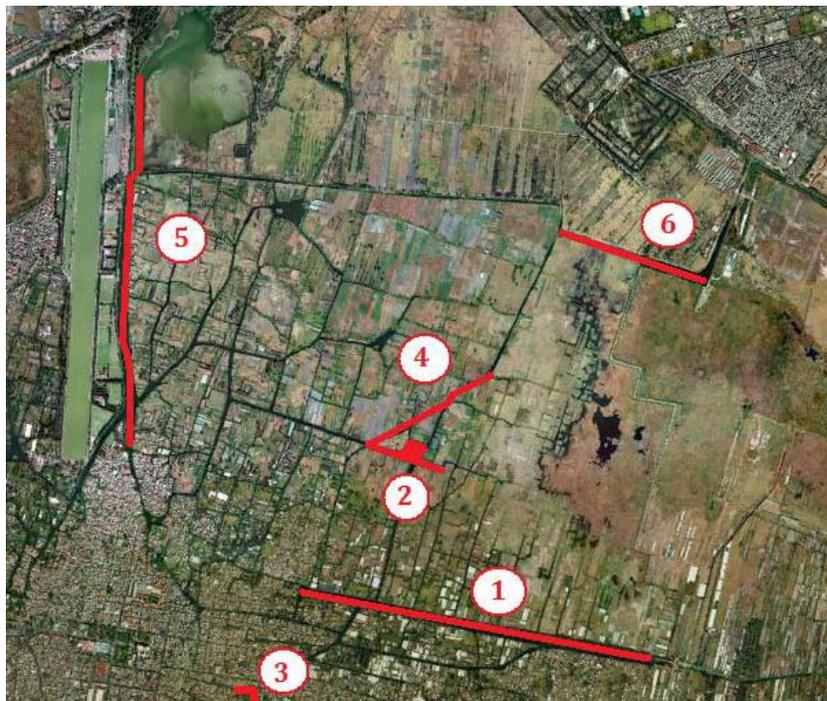


Figura 78. Canales en donde se ha llevado a cabo la pesca intensiva de carpas y tilapias. 1: Apatlaco, 2: Tezhuilo, 3: San Diego, 4: Paso del Águila, 5: Cuemanco y 6: Japón.

Tabla 8. Cantidad de peces extraídos (kilogramos y organismos) en los diferentes canales de Xochimilco durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2011.

	Semana	Kilogramos	Organismos
Octubre	1	4,231.5	11,087
	2	5,610.2	39,147
	3	6,633.9	68,298
	4	6,341	69,369
	5	2,129.4	19,110
Noviembre	6	7,016.1	61,985
	7	7,507.1	41,985
	8	2,921.1	26,215
Diciembre	9	4,832.1	43,365
	10	2,429.7	21,805
	11	518.7	4,655
<b>Total</b>		<b>50,170.8</b>	<b>407,020</b>





Figura 79. Procedimiento de pesca.

### 2.1.3. Análisis de parámetros fisicoquímicos

Para realizar el análisis de parámetros fisicoquímicos se utilizó una sonda multiparamétrica modelo YSI. Se llevaron a cabo tres registros de la calidad del agua al mismo tiempo que la extracción de peces exóticos. Se registraron los siguientes parámetros: profundidad, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad, oxido-reducción, porcentaje de oxígeno disuelto y oxígeno disuelto. La base puede ser consultada en el Anexo 2 bajo el nombre de: “Parámetros Fisicoquímicos de Pesca”.

## 2.2 Producción de harina de pescado y composta

### 2.2.1. Envío de pescado para la producción de harina

No fue necesario recurrir al envío de pescado a una harinera, debido a que no se rebasó la capacidad de las secadoras que se utilizaron para la producción de harina y composta.

### 2.2.2. Procesamiento del pescado para la generación de composta

Después de ser capturado, todo el pescado fue transportado a una chinampa para su procesamiento. Se fabricaron cuatro secadoras de geomembrana de 0.57 mm, lo que evita que los lixiviados penetren en el suelo. Las secadoras no requieren de insumos energéticos y sirven para deshidratar el pescado utilizando la energía solar por convección, por lo que seca más rápido en comparación con la exposición directa al sol. Cada secadora mide 50 x 5 m y tiene la capacidad de contener hasta 8 toneladas de pescado.

El pescado colectado fue tendido sobre las secadoras y cubierto con cal. Cuando el pescado se encontraba seco de un lado se le daba vuelta y se volvía a cubrir con cal. Después de haber sido secado (aproximadamente 7 días), el pescado fue triturado con un molino de 13 caballos de fuerza para generarse la harina. La harina fue almacenada en costales de 50 kg y posteriormente fue utilizada como uno de los elementos para la generación de composta (Figura 80). Por cada tonelada de pescado procesado se obtuvieron aproximadamente 200 kg de harina. En total se generó una tonelada de harina. Las instalaciones y el procesamiento pueden observarse en la siguiente dirección electrónica: <http://youtu.be/OGAs30xko4k>



Figura 80. Procesamiento de pescado para la generación de composta.

### 2.3 Implementación de talleres de capacitación y educación ambiental

Los talleres fueron impartidos por la organización REDES, A.C. El primer taller dirigido a la comunidad pesquera se impartió el día 10 de noviembre de 2011. Se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Durante el taller se realizó, de manera participativa, el monitoreo, la evaluación y la planeación del proyecto de extracción de especies exóticas. Se discutieron las acciones que se deben de realizar para cumplir de manera exitosa los objetivos de restauración y de desarrollo comunitario sustentable. Los detalles de dicho taller pueden consultarse en el Anexo 2 del presente informe, bajo el nombre: “Primer Taller”.

El segundo taller impartido el 17 de noviembre de 2011 estuvo dirigido al conocimiento de la producción de harina a partir del pescado extraído. Este taller permitió conocer el procedimiento adecuado para llevar a cabo la conversión de pescado en harina. Asimismo, se expuso la utilidad que tiene la harina. Se explicó el proceso de digestibilidad, por lo que fue necesario ofrecer el procedimiento correcto para optimizar dicha digestibilidad. Los detalles de dicho taller pueden consultarse en el Anexo 2 del presente informe, bajo el nombre: “Segundo Taller”.

El tercer taller impartido el 7 de diciembre de 2011 estuvo enfocado en la importancia de los bienes comunes y el cooperativismo. Este taller permitió entablar un acercamiento entre todos los colaboradores en el proyecto de rehabilitación de chinampas. Y sirvió para identificar los problemas que afectan a las chinampas, la Laguna de Tezhuilo y entre los productores. Así también, se discutió sobre otros procesos campesinos cooperativistas que se han generado a partir de la defensa de sus bienes comunes. Los detalles de dicho taller pueden consultarse en el Anexo 2 del presente informe, bajo el nombre: “Tercer Taller”.

## 2.4 Realización del estudio “Estructura y dinámica poblacional de las especies de peces introducidos (*Cyprinus carpio* y *Oreochromis niloticus*) del sistema lacustre de Xochimilco”

Con base en los datos obtenidos durante el programa de erradicación de especies exóticas fue posible realizar el estudio “Estructura y dinámica poblacional de las especies de peces introducidos, carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*), en el sistema lacustre de Xochimilco“. El documento se encuentra en el Anexo 2 bajo el nombre: “Estructura y Dinámica Poblacional de Peces Introducidos”. Las bases de datos de cada especie se encuentran en el Anexo 2 bajo el nombre de: “Carpa”, “Tilapia” y “Burro”.

### Aplicación de los recursos en caso de grupos u organizaciones

El procedimiento de extracción de carpas y tilapias mediante la pesca intensiva ha tenido, hasta el momento, los siguientes beneficiarios:

Directos:

- 22 pescadores
- 2 estudiantes
- 1 chinampero

Indirectos:

- 88 familiares de los pescadores
- 4 familiares de los chinamperos

### **3. INSTRUMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO AMBIENTAL**

Es fundamental el establecimiento de un sistema de monitoreo ambiental en Xochimilco que genere datos que puedan ser publicados en tiempo real y que constituya la base logística y de infraestructura para la investigación dentro del proyecto Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote. Debido a que Xochimilco es un sistema complejo, la obtención continua de información beneficiará a que las investigaciones se realicen de manera más profunda y así poder comprender la dinámica espacial del sistema. Este sistema generará información que ayudará a comprender cómo funciona el ecosistema en diferentes regiones y, por lo tanto, permite la toma rápida de decisiones a problemas que puedan poner en riesgo la biodiversidad del sitio. Además, estas decisiones estarán fundamentadas, tendrán una base científica y ofrecerán soluciones eficientes y acertadas. En el futuro, este sistema de monitoreo generará oportunidades de investigación en diferentes áreas de la ciencia y promoverá la colaboración multidisciplinaria.

Por lo tanto, fue necesario el monitoreo constante de las variables bióticas y abióticas del sistema lacustre de Xochimilco.

#### **3.1. Generar una estructura rectangular desmontable**

Se le solicitó a la empresa Construcciones y Acabados Mardel que elaborará un plano de construcción que cumpliera con las siguientes características: (1) se adecúe a las características del terreno, (2) que produzca una alteración mínima del entorno (3) que garantice la seguridad del equipo que será resguardado dentro de la estructura. Con base en lo anterior, se contrató a dicha empresa para prestar el servicio.

De igual forma, se estableció un diálogo con la Asociación de Remo y Canotaje, la cual participó de manera conjunta con la toma de decisiones con respecto a las actividades dentro del terreno para hacer los acuerdos pertinentes antes de llevar a cabo la construcción de la estación de monitoreo ambiental.

Durante el mes de noviembre de 2011 se llevó a cabo la primera etapa de los trabajos de limpieza, deshierbe y nivelación del terreno. Se comenzó la limpieza del terreno y al miércoles 30 del mismo mes, el avance de la limpieza fue de un 50% de la superficie del terreno (39.41 x 23.12 metros) (Figura 81). La segunda etapa se realizó durante el mes de diciembre (15 de diciembre), en el que se completó la limpieza del terreno en su totalidad. Esta actividad fue realizada utilizando una cuadrilla de 20 personas, las cuales se encargaron del deshierbe, poda, limpieza de basura y escombros, nivelación del terreno y poda de ahuejotes. (Figura 82).



Figura 81. Primera etapa. Avance de la limpieza del terreno.





Figura 82. Segunda etapa. Trabajos finales de limpieza, deshierbe y nivelación del terreno.

Para llevar a cabo la instalación de la caseta desmontable, fue necesario realizar la limpieza y preparación del espacio físico en el terreno. También fue necesario hacer el deshierbe y nivelación del terreno. La limpieza y nivelación de terreno alrededor de la obra, instalación de la caseta (que incluyó soclo perimetral, postes, travesaños, caseta y mano de obra) y la instalación del chaflán perimetral de concreto fueron realizadas y proporcionadas por el proveedor. Los trabajos necesarios para la instalación de la caseta comenzaron el día 19 de diciembre de 2011 y fueron terminados el día 29 de diciembre de 2011. (Figura 83).



Figura 83. Trabajos de limpieza, desmonte, deshierbe, nivelación del terreno e instalación de la caseta desmontable.

### 3.2. Adquirir equipo y material de medición, procesamiento en laboratorio y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en agua, sedimento y suelo del sistema lacustre de Xochimilco.

La adquisición y uso de equipo y material sofisticado de medición, como son las sondas multiparamétricas permitió la obtención de información precisa y confiable sobre parámetros físicos, químicos y biológicos en agua, que es la base de la comprensión del funcionamiento de

distintas regiones del sistema lacustre de Xochimilco. Asimismo, las decisiones que se tomen a futuro, en torno a la recuperación del ecosistema, tendrán una base científica y estarán orientadas a brindar soluciones a largo plazo.

Este equipo, material y reactivos tienen la capacidad de cuantificar los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad, oxígeno disuelto, potencial óxido-reducción, nitratos, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, penetración de luz, turbidez, clorofila a, profundidad, coliformes fecales, enterococos fecales, bacteriófagos, carbono orgánico total, metales pesados, análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno, abundancia de vertebrados acuáticos, insectos acuáticos y zooplancton.

Los parámetros anteriormente descritos son los mínimos indispensables para comprender el funcionamiento del sistema lacustre en diferentes regiones del mismo, con un sustento científico cumpliendo con los estándares internacionales de medición. La inversión inicial en este equipo y su uso adecuado, reeditarán en que las acciones que se implementen a futuro en los diferentes ámbitos del manejo ambiental de Xochimilco, estén orientados con un sustento científico, lo que permitirá la toma de decisión de manera eficiente, y evitará invertir en acciones de solución temporal que no tengan un efecto adecuado a largo plazo.

Se adquirieron dos sondas multiparamétricas YSI. Ver Anexo 4.

### 3.3. Cinco sitios habilitados con equipo para coleccionar datos de calidad de agua y organismos.

Se eligieron los terrenos de acuerdo con la zonificación que resume los diferentes usos de suelo, calidad del agua y grado de perturbación (Contreras, 2006).

De acuerdo a la zonificación presentada en el proyecto, se eligieron los cinco sitios de estudio para la colecta de datos de calidad de agua y organismos.

Para la elección de los sitios se utilizó la regionalización propuesta por Contreras (2006) en la que se establece una división de acuerdo al grado de alteración de la zona lacustre de Xochimilco

en cinco zonas: A: Chinampera, B: Urbana, C: Turística, D: Chinampera-Urbana, E: Parque y F: Pista de Remo y Canotaje (Figura 84).

Zona chinampera (A).- Es la zona donde el uso de suelo está relacionado a la agricultura a través de chinampas y a la ganadería. Prácticamente no existen zonas urbanizadas.

Zona urbana (B).- En esta zona existe una importante urbanización aunque en algunas partes todavía se practica la chinampería y existen algunas chinampas habilitadas como invernaderos.

Zona turística (C).- Zona completamente urbanizada donde las principales actividades son el turismo, y el cultivo de flores y hortalizas a través de invernaderos.

Zona chinampera/urbana (D).- Zona donde aún se practica la chinampería como actividad principal pero a diferencia de la zona A, presenta zonas urbanizadas y algunas chinampas se encuentran abandonadas.

Zona parque (E).- En esta zona se incluye únicamente el humedal perteneciente al Parque Ecológico Xochimilco (PEX). En la parte norte del humedal existe una entrada de agua proveniente de la planta de tratamiento “Cerro de la Estrella” la cual es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua de la zona. El humedal se conecta con el resto de Xochimilco a través del canal de Cuemanco.

Zona pista (F).- Esta zona está conformada por el resto de Xochimilco y el nivel del agua de la pista es mantenido a través de agua de pipas proveniente de plantas de tratamiento de aguas residuales.

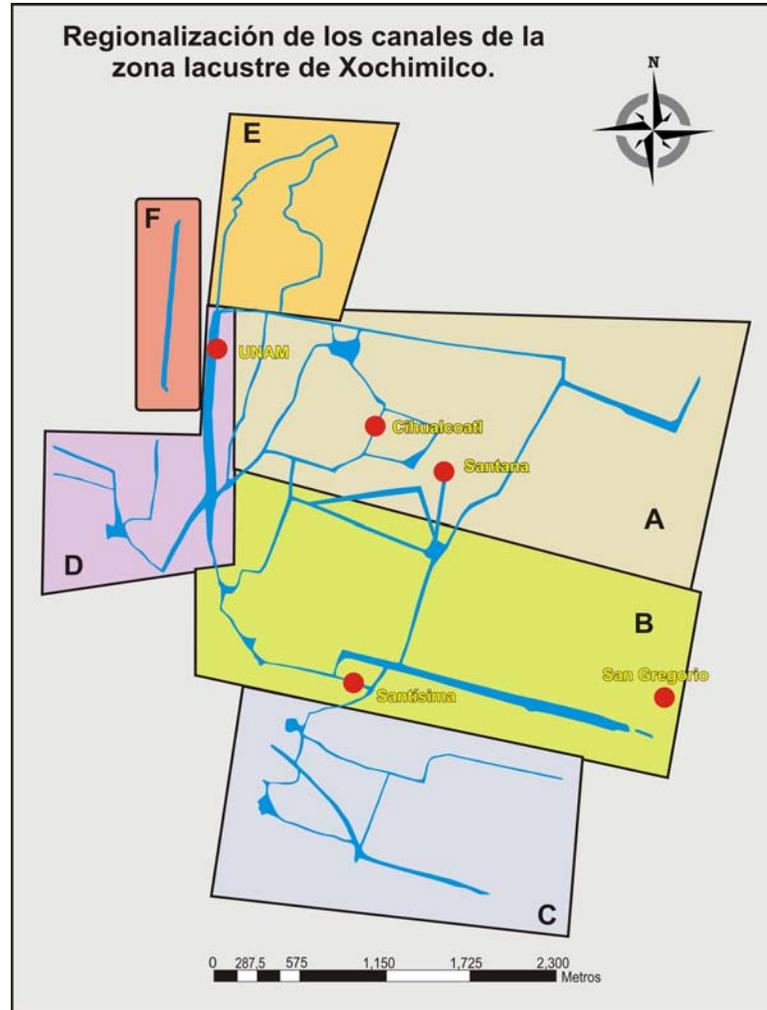


Figura 84. Regionalización de los canales de la zona lacustre de Xochimilco.

Con el fin de obtener la mayor representatividad de los diferentes usos de suelo y grados de perturbación de Xochimilco, se eligieron los siguientes sitios para la colecta de datos:

-Sitio UNAM: está ubicado en el canal Nacional, a un costado del embarcadero Cuemanco; dentro de la zona D. Posee un canal interno con comunicación al canal de Cuemanco, por lo que carece de un flujo representativo al interior del terreno. En el sitio predominan especies vegetales como el lirio, lechuga de agua, ninfa, Lemna y paragüitas (Figura 85).



Figura 85. Imagen del sitio UNAM.

-Sitio Cihualcoatl: está ubicado en un canal adyacente al canal Almoloya, dentro de la zona A. Este sitio está destinado principalmente al cultivo de maíz, flores de ornato y hortalizas. Se encuentra rodeado por una serie de tres apantles y un canal. En el sitio predominan el shacaltule, altamisa, lirio y paraguilitas (Figura 86).

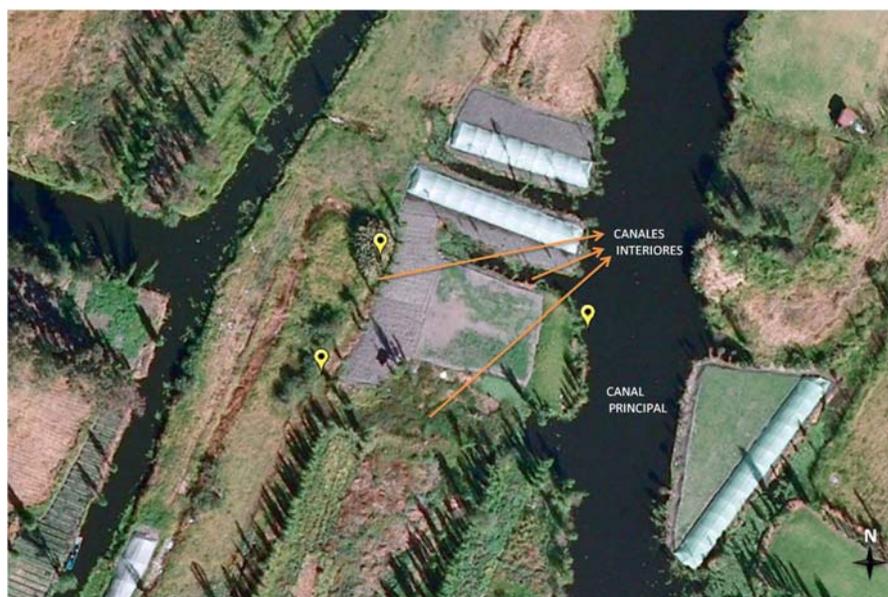


Figura 86. Imagen del sitio Cihualcoatl.

-Sitio San Gregorio: está ubicado aproximadamente a 200 metros de Puente de Urrutia, muy cerca del canal Apatlaco; dentro de la zona B. El sitio está dedicado principalmente a la chinampería tradicional, y en el predominan el lirio, pasto, Lemna, lechuga de agua, paragüitas y shacaltule (Figura 87).



Figura 87. Imagen del sitio San Gregorio.

-Sitio La Santísima: está ubicado en el canal La Santísima, dentro de la zona B. Es una zona con un alto grado de urbanización y cuyas actividades afectan directamente a los canales. En el sitio predominan el floripondio, nochebuena, bugambilia, ahuejote, lirio, tepozán, paragüitas y *Myriophyllum* (Figura 88).



Figura 88. Imagen del sitio La Santísima.

-Sitio Santana: está ubicado en el canal Tezhuilo, aproximadamente a 100 metros de la Isla de las Muñecas; dentro de la zona A. Es un sistema de tres chinampas piloto en la que se llevan a cabo acciones de rehabilitación mediante la apertura y desazolve de los apantles, así como la reconversión al cultivo tradicional evitando el uso de agroquímicos, favoreciendo además la infiltración del agua. En ella se cultivan principalmente lechugas, verdolagas, acelgas, entre otras hortalizas. En el sitio predomina el *Myriophyllum*, lirio, chilillo, Lemna, lechuga de agua, berro y paragüitas (Figura 89).



Figura 89. Imagen del sitio Santana.

Se realizaron tres colectas durante el periodo comprendido entre los meses de noviembre de 2011 y marzo de 2012. Los muestreos de datos de calidad de agua y organismos se realizaron con una frecuencia aproximada de dos meses. Los muestreos comenzaron a principios de noviembre (ver Anexo 4).

*3.3.1. Realizar el deshierbe y limpieza del terreno. Este terreno tendrá al menos 30m<sup>2</sup>, puesto que involucra el contar con las condiciones necesarias para poderse acercar a la jaula desde la chinampa.*

Se llevó a cabo la limpieza y el deshierbe de los cinco sitios (Figura 90).



Figura 90. Limpieza y deshierbe de los sitios de muestreo.

*3.3.2. Efectuar labores de mantenimiento constante para evitar el deterioro de los sitios.*

El mantenimiento de los sitios se ha llevado y se lleva a cabo constantemente para evitar el crecimiento de maleza y el deterioro de las paredes de las chinampas.

*3.3.3. Realizar el estacado de la chinampa para darle fortaleza a las paredes, principalmente aquellas que colindan con los canales principales.*

No fue necesario llevar a cabo el estacado de las paredes debido a que el trabajo de los jornaleros con herramienta manual permitió que las paredes quedaran firmes.

*3.3.4. En cada sitio se anclará una jaula metálica de 1 m x 1 m de acero inoxidable con el fin de que sean resistentes a las condiciones físicas del sistema, las cuales resguardarán las sondas multiparamétricas y los termógrafos.*

Este equipo tiene la capacidad de registrar los parámetros fisicoquímicos del agua de manera continua a lo largo de las 24 horas. El equipo que necesario para este objetivo se encuentra contemplado en el material que de adquisición para el equipamiento del sistema de monitoreo ambiental. El equipo registra los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, potencial óxido-reducción, presión atmosférica e intensidad lumínica. El anclaje involucra que las jaulas estén fijadas a una estructura sólida cercana a la orilla de las chinampas. El anclaje se adecúa de acuerdo a las características de cada terreno. Así, en algunos casos se trata de una estructura

sólida de concreto (un dado de 0.3 X 0.3 X 0.5 m enterrado) y en otros casos el anclaje es directo al estacado cuando las estacas comprueben no destruirse con el tiempo.

Se concluyeron los trabajos de diseño de cada una de las jaulas que contendrán los equipos de medición. Este diseño garantiza la durabilidad de las jaulas y la seguridad de las sondas multiparámetricas (Figura 91). Hasta el momento, se cuenta con una jaula lista para ser instalada (Figura 92), las restantes serán entregadas e instaladas en cuanto las sondas multiparamétricas sean entregadas por el proveedor.

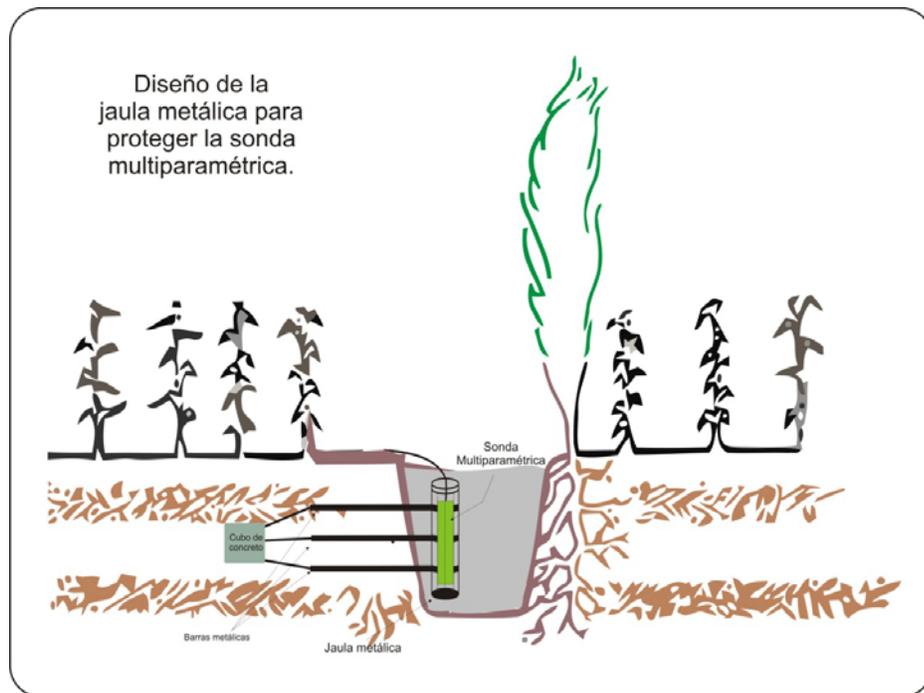


Figura 91. Diseño de jaula metálica para sonda multiparamétrica.

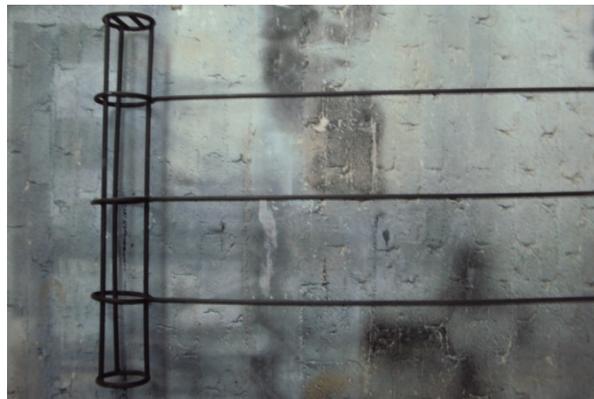


Figura 92. Jaula metálica para protección de sonda multiparamétrica.

3.3.5. Cada semana se recabará la información contenida y se procesará en laboratorio para actualizar el sistema de información digital y el desarrollo del informe técnico.

Ver Anexo 4.

3.3.6. Adicionalmente, se llevó a cabo el registro bimensual de otros factores tanto abióticos como bióticos. El equipo que se utilizó para este objetivo se encuentra contemplado en el material que se adquirió para el equipamiento del sistema de monitoreo ambiental. Se registraron los siguientes parámetros: nitratos, nitrógeno amoniacal, ortofosfatos, penetración de luz, turbidez, clorofila a, profundidad, coliformes fecales y enterococos fecales, bacteriófagos, carbono orgánico total, metales pesados, abundancia de vertebrados acuáticos, insectos acuáticos y zooplancton.

En cada uno de los cinco sitios, se realizaron tres registros bimensuales de los siguientes factores bióticos y abióticos: penetración de la luz, turbidez, clorofila a, profundidad, abundancia de vertebrados acuáticos, insectos acuáticos y zooplancton (Figuras 93-96).



Figura 93. Toma de muestras para la determinación de factores bióticos y abióticos.



Figura 94. Muestreo de insectos acuáticos.



Figura 95. Muestreo de zooplancton.



Figura 96. Muestreo de vertebrados acuáticos.

La información que se obtuvo de las tres colectas realizadas, se presenta en las Tablas 9-17, en las cuales se expresan los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos, la vegetación, los insectos y los vertebrados presentes en cada uno de los sitios de muestreo.

Tabla 9. Primer registro de variables abióticas en los cinco sitios de muestreo.

PRIMER COLECTA					
Sitio	UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
<b>Parámetro</b>					
Transparencia (cm)	32	40	37	60	15
Profundidad (cm)	50	70	82	120	20
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2139	831	830	1465	837
Sólidos Disueltos (TDS)	1.073	0.411	0.415	0.734	0.418
Salinidad (Sal)	1.11	0.41	0.41	0.74	0.41
Potencial REDOX	51.3	59.7	113.2	112.4	-21.5
% Oxigenación	16.9	95.8	25.4	10.2	92.8
Oxígeno (mg/l)	1.85	9.49	2.53	1.08	9.17
pH	7.34	8.73	6.87	7.2	9.24
Temp Amb ( $^{\circ}\text{C}$ )	10	29	17	18	22
Temp agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	12.77	18.52	15.05	14.19	15.19
Coordenadas (UTM)	X:0489236 Y:2132163	X:0489835 Y:2131212	X:0490259 Y:2129797	X:0494991 Y:2129836	X:0490834 Y:2130964

Tabla 10. Segundo registro de variables abióticas en los cinco sitios de muestreo.

SEGUNDA COLECTA					
Sitio	UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
Parámetro					
Transparencia (cm)	35	24	34	28	28
Profundidad (cm)	52	37	85	108	61
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1190	872	809.3	1412	1012.3
Sólidos Disueltos (TDS)	0.627	0.436	0.404	0.703	0.506
Salinidad (Sal)	0.59	0.43	0.4	0.715	0.5
Potencial REDOX	56.06	20.26	-77.3	-111.02	-3.93
% Oxigenación	61.3	77.5	38.1	16.6	68.4
Oxígeno (mg/l)	6	7.8	3.8	1.8	6.5
pH	7.82	8.52	8.87	7.69	8.29
Temp Amb ( $^{\circ}\text{C}$ )	24.3	28	29.3	18.75	17
Temp agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	12.49	15.36	15.38	14.09	15.62
Coordenadas (UTM)	X:0489236 Y:2132163	X:0489835 Y:2131212	X:0490259 Y:2129797	X:0494991 Y:2129836	X:0490834 Y:2130964

Tabla 11. Tercer registro de variables abióticas en los cinco sitios de muestreo.

TERCER COLECTA					
Sitio	UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
Parámetro					
Transparencia (cm)	42	17	40	26	19
Profundidad (cm)	55	53	96	131	43
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	971	806	847	2504	830
Sólidos Disueltos (TDS)	0.485	0.403	0.423	1.253	0.405
Salinidad (Sal)	0.47	0.39	0.41	1.3	0.4
Potencial REDOX	63.2	135.2	30.7	45.56	13.6
% Oxigenación	17.5	81.5	52.9	47.56	53.56
Oxígeno (mg/l)	1.8	8.09	5.27	4.49	5.48
pH	7.67	8.67	7.58	8.26	8.43
Temp Amb ( $^{\circ}\text{C}$ )	21.6	24.6	27.6	28.8	30
Temp agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	15.7	19.27	18.77	19.33	18.97
Coordenadas (UTM)	X:0489236 Y:2132163	X:0489835 Y:2131212	X:0490259 Y:2129797	X:0494991 Y:2129836	X:0490834 Y:2130964

Tabla 12. Primer registro de la vegetación presente en cada uno de los cinco sitios de muestreo.

PRIMER COLECTA					
SITIO	ESTACIÓN UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
ESPECIE					
Lirio acuático	✓	✓	✓	✓	✓
Altamisa		✓		✓	✓
Lechuga de agua	✓	✓			
Berro			✓		
Chilillo					✓
Myriophyllum acuaticum			✓		✓
Paragüitas	✓		✓	✓	
Lemna sp.				✓	✓
Tule					
Shacaltule		✓			✓
Acelgas					
Ninfa	✓				
Ahuejote	✓		✓		

Tabla 13. Segundo registro de la vegetación presente en cada uno de los cinco sitios de muestreo.

SEGUNDA COLECTA					
SITIO	ESTACIÓN UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
<b>ESPECIE</b>					
Lirio acuático	✓	✓	✓	✓	✓
Altamisa			✓		
Lechuga de agua		✓			✓
Berro				✓	
Chilillo		✓	✓	✓	
Myriophyllum acuaticum		✓	✓	✓	✓
Paragüitas	✓		✓	✓	✓
Lemna sp.	✓			✓	
Tule			✓		
Shacaltule		✓			
Acelgas		✓			
Ninfa	✓				
Ahuejote	✓				

Tabla 14. Tercer registro de la vegetación presente en cada uno de los cinco sitios de muestreo.

TERCER COLECTA					
SITIO	ESTACIÓN UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
<b>ESPECIE</b>					
Lirio acuático		✓	✓	✓	✓
Altamisa		✓	✓		
Lechuga de agua	✓				
Berro					
Chilillo		✓		✓	
Myriophyllum acuaticum	✓		✓		✓
Paragüitas	✓	✓	✓	✓	
Lemna sp.	✓				✓
Tule	✓				
Shacaltule	✓	✓		✓	✓
Acelgas					
Ninfa					
Ahuejote	✓				

Tabla 15. Primer registro de los vertebrados presentes en cada uno de los cinco sitios de muestreo.

PRIMER COLECTA					
SITIO	ESTACIÓN UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
<b>ESPECIE (N.Común / N.Científico)</b>					
Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	✓	✓	✓		✓
Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	✓	✓	✓		✓
Charal ( <i>Menidia jordani</i> )	✓		✓		✓
Burro ( <i>Goodea atripinnis</i> )			✓	✓	
Espada ( <i>Xiphophorus helleri</i> )			✓		
( <i>Poeciliopsis gracilis</i> )	✓				
Acocil ( <i>Cambarellus montezumae</i> )	✓				✓
Olomina ( <i>Heterandria bimaculata</i> )		✓			
Guppys ( <i>Poecilia reticulata</i> )					

Tabla 16. Segundo registro de los vertebrados presentes en cada uno de los cinco sitios de muestreo.

SEGUNDA COLECTA					
SITIO	ESTACIÓN UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
<b>ESPECIE (N.Común / N.Científico)</b>					
Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	✓	✓	✓	✓	✓
Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	✓	✓	✓	✓	✓
Charal ( <i>Menidia jordani</i> )	✓				
Burro ( <i>Goodea atripinnis</i> )	✓		✓		
Espada ( <i>Xiphophorus helleri</i> )		✓			
( <i>Poeciliopsis gracilis</i> )					✓
Acocil ( <i>Cambarellus montezumae</i> )	✓				
Olomina ( <i>Heterandria bimaculata</i> )					
Guppys ( <i>Poecilia reticulata</i> )					

Tabla 17. Tercer registro de los vertebrados presentes en los cinco sitios de muestreo.

TERCER COLECTA					
SITIO	ESTACIÓN UNAM	CIHUALCOATL	LA SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA
<b>ESPECIE (N.Común / N.Científico)</b>					
Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> )	✓	✓	✓	✓	✓
Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	✓	✓	✓		✓
Charal ( <i>Menidia jordani</i> )					
Burro ( <i>Goodea atripinnis</i> )	✓	✓	✓		✓
Espada ( <i>Xiphophorus helleri</i> )			✓		
( <i>Poeciliopsis gracilis</i> )	✓				
Acocil ( <i>Cambarellus montezumae</i> )	✓				✓
Olomina ( <i>Heterandria bimaculata</i> )		✓			
Guppys ( <i>Poecilia reticulata</i> )	✓				

Las Tablas 18-20 muestran los registros del zooplancton que se obtuvieron en cada una de las tres colectas. Los resultados están expresados en células por litro.

Tabla 18. Primer registro del zooplancton presente en los cinco sitios de muestreo.

PRIMER COLECTA					
Zooplancton (Cel/l)	Cladóceros	Copépodos	Ostrácodos	Rotíferos	Anfípodos
<b>SITIO DE MUESTREO</b>					
ESTACIÓN UNAM	1005	188	0	3	3
CIHUALCOATL	960	273	0	0	3
SANTÍSIMA	998	158	0	0	0
SAN GREGORIO	948	215	5	3	3
SANTANA	813	180	0	3	0

Tabla 19. Segundo registro del zooplancton presente en los cinco sitios de muestreo.

SEGUNDA COLECTA					
Zooplancton (Cel/l)	Cladóceros	Copépodos	Ostrácodos	Rotíferos	Anfípodos
SITIO DE MUESTREO					
ESTACIÓN UNAM	1250	221	0	5	4
CIHUALCOATL	560	320	0	0	3
SANTÍSIMA	648	175	0	0	3
SAN GREGORIO	520	231	0	2	0
SANTANA	1120	172	0	4	0

Tabla 20. Tercer registro del zooplancton presente en los cinco sitios de muestreo.

TERCER COLECTA					
Zooplancton (Cel/l)	Cladóceros	Copépodos	Ostrácodos	Rotíferos	Anfípodos
SITIO DE MUESTREO					
ESTACIÓN UNAM	1453	256	0	3	5
CIHUALCOATL	400	339	0	0	2
SANTÍSIMA	460	187	2	1	1
SAN GREGORIO	320	200	0	0	0
SANTANA	789	289	0	1	0

En la Tabla 21 se presentan los registros de insectos e invertebrados que se encontraron en la primera colecta que correspondió al mes de noviembre de 2011. Se señalan, de manera detallada, los grupos presentes para cada uno de los sitios de muestreo. Debido al recorte del presupuesto del proyecto, fue imposible determinar a los organismos de las colectas correspondientes a los meses de enero y marzo.

Tabla 21. Registros de los insectos presentes en los cinco sitios de muestreo.

CLASE	ORDEN	SITIO DE MUESTREO					Ejemplos
		UNAM	CIHUALCOATL	SANTÍSIMA	SAN GREGORIO	SANTANA	
INSECTA	Coleóptera	✓	✓		✓	✓	voladores y pequeños escarabajos.
	Diptera	✓	✓	✓	✓	✓	mosquitos y quironómidos
	Himenóptera	x	x	x	✓	✓	abejas y avispas
	Lepidóptera	✓	✓	✓	x	x	mariposas y polillas
	Hemíptera	✓	x	x	x	✓	patinadores, corixidos
	Odonata	✓	✓	✓	x	✓	libélulas
ARACHNIDA	Araneae	✓	✓	✓	✓	✓	arañas
HIRUDINEA	----	✓	x	✓	x	✓	sanguijuelas
GASTROPODA	Pulmonata	✓	x	x	x	x	caracoles
MALACOSTRACA	Amphipoda	✓	x	✓	✓	✓	Hyallela azteca
		Presente ✓ Ausente x					

### 3.4 Generar un sistema de información digital vinculado con la Unidad de Informática para la Biodiversidad del Instituto de Biología de la UNAM.

#### Plataforma de datos

Se diseñó una base de datos relacional con 137 campos distribuidos en 13 tablas de la siguiente manera:

- Contenido estomacal, 56 campos.
- Datos fisicoquímicos, 24 campos.
- Datos taxonómicos, 23 campos.
- Localización, 8 campos.
- Colectas/Sitio, 7 campos.
- Datos biológicos, 4 campos.
- Datos de la fecha, 3 campos.
- Datos de vegetación, 2 campos.
- Datos de muestreo, 2 campos.
- Datos morfométricos, 2 campos.
- Isótopos, 2 campos.
- Caracterización, 2 campos.
- Datos de bacterias, 2 campos.

También se migraron a la nueva plataforma de datos 1009 registros que se ha recopilado en proyectos anteriores con el fin de integrarlos junto con los datos que se obtengan de los sensores y tener así un espectro más amplio de información de los sitios de estudio. Se realizó también una limpieza de datos y control de calidad de estos registros, para homogenizar y estandarizar los campos de la base de datos.

#### Servicios de administración y consulta de datos

Se comenzó a trabajar en un sistema de administración y consulta de datos, que permita seleccionar distintos conjuntos de datos y descargarlos en un archivo de texto separado por comas para permitir al usuario trabajar en una hoja de cálculo de manera local.

## Visualización

Se desarrolló un sistema de mapas en línea utilizando Map Server para generar los mapas y Open Layer para publicarlos en línea. Este sistema permite publicar distintas capas en una interface intuitiva y de fácil manejo (Figura 97).

También se trabajó en un sistema generador de gráficas basado en Highcharts para la visualización de datos en línea y en tiempo real.







Figura 97. Ejemplos de visualización del sistema digital.

Se desarrollaron web services para publicar en los mapas los datos de la base de datos, así como para conectarlos con la interfaz de usuario y con el sistema de indexado basado en SOLR. La dirección electrónica temporal preliminar para consultar los avances de la plataforma es:

<http://test.unibio.unam.mx/rcrescen/ColectasXochimilco-war/map0.jsp>

Ver Anexo 4.

### 3.5. Análisis comparativo del monitoreo continuo de variables bióticas y abióticas de cinco sitios del sistema lacustre de Xochimilco.

Para el sistema de monitoreo ambiental de parámetros físicos, químicos y biológicos en agua y sedimento de Xochimilco se seleccionaron cinco sitios a partir del análisis espacial mencionado en la Sección 1 (Restauración de apantles y chinampas) de este informe.

Esta selección está organizada en función de las características que presenta cada sitio en cuanto a su ubicación, vegetación y tipo de uso de suelo o actividad que se realiza en los sitios, considerando que son representativos del sistema lacustre de Xochimilco (ver Sección 3.3).

Se han tomado las muestras en los sitios seleccionados y se ha efectuado el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos. En el presente documento se describen los métodos analíticos utilizados para el monitoreo ambiental de Xochimilco así como los resultados.

Para conocer el estado actual del sistema, se llevaron a cabo dos muestreos, uno durante los meses de octubre y noviembre de 2011 correspondiente a la temporada seca-fría, y otro durante el mes de marzo de 2012 que corresponde a la temporada cálida-seca. Para el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos en agua y sedimento, se tomaron muestras por triplicado en tres puntos de cada uno de los cinco sitios. Por lo tanto, se analizaron un total de 9 muestras por sitio. Para coleccionar las muestras de agua, se utilizó una botella muestreadora de acero inoxidable (Figura 98). Las muestras se coleccionan en frascos de polipropileno de alta densidad lavados y esterilizados a dos terceras partes de la profundidad del canal (APHA, 2005), considerándose ésta una muestra representativa de la columna de agua (Hynes, 1983). Todas las muestras se almacenaron y transportaron a 4°C hasta su análisis en el laboratorio en las siguientes 24 horas.



Figura 98. Toma de muestras de agua para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Para la recolección de sedimento de los canales, se utilizó una draga Eckman de acero inoxidable (Figura 99). El sedimento extraído se guardó en bolsas de plástico estériles con cierre hermético y se conservaron a 4°C hasta su posterior análisis en laboratorio. Los análisis se llevaron a cabo durante las siguientes 24 horas de acuerdo a lo recomendado por Mudroch y MacKnight (1994).



Figura 99. Toma de muestras de sedimento mediante el uso de una draga tipo Eckman.

## Análisis de parámetros microbiológicos, coliformes fecales y enterococos fecales

### - Parámetros microbiológicos

Para los análisis bacteriológicos en agua y sedimento se utilizaron como indicadores de contaminación fecal a las bacterias del grupo de coliformes y enterococos. Se utilizó el método de filtración a través de membranas para cuantificar coliformes fecales (CF) y enterococos fecales (EF) (Murray, 1995; APHA, 2005). Debido a que se trata de muestras ambientales y a la alta densidad bacteriana, se realizaron diluciones para poder cuantificar a las bacterias ( $10^0$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ) en buffer de fosfatos a pH 7 (APHA, 2005). Para ello, se tomó 1 mL de la muestra y se colocó en 9 mL de buffer. Se homogenizaron con un vortex GENIE Modelo SI-T236 y se filtraron a través de membranas de  $0.45 \mu\text{m}$  de acetato de celulosa (Millipore MFTipo HA, Millipore Corp. Bedford). Una vez filtrada la muestra, las membranas se colocaron en medios de cultivo selectivos:

- Agar M-FC (Becton Dickinson, Cockeysville, MD) para CF.
- Agar KF (Becton Dickinson, Cockeysville, MD) para EF.

Las CF se incubaron a una temperatura de  $44.5 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 24 horas y los EF a  $35 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 horas (Murray, 1995; APHA, 2005). Posteriormente, se cuantificaron en unidades formadoras de colonias por cada 100 mL (UFC/100 mL) (Figura 100).



Figura 100. Filtración por membranas para el análisis de coliformes y enterococos fecales.

En el caso de los sedimentos se pesaron 10 g de muestra y se colocaron en 90 mL en buffer de fosfatos a pH 7 y 1 mL de Tween 80 al 0.01% como surfactante. Debido a la alta densidad bacteriana se realizaron diluciones para poder cuantificar a las bacterias ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ).

#### - Parámetros fisicoquímicos

Los datos de pH, conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos disueltos totales (mg/L), salinidad, ORP (potencial redox), oxígeno disuelto (% y mg/L) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en agua, se determinaron con el medidor multiparamétrico HANNA modelo HI 9828.

El análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó bajo el principio de que los compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se colocó a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o por espectrofotómetro para determinar la cantidad de dicromato consumido y así calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente (APHA, 2005; DOF, 2001b).

La Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. El método se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se han inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (APHA, 2005; DOF, 2001d).

El porcentaje de Carbono Orgánico (% CO) se determinó mediante el método de Walkley y Black que se basa en la oxidación del carbono orgánico por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado (DOF, 2000). Los análisis de DQO,  $\text{DBO}_5$  y % CO se realizaron en el laboratorio acreditado IDECA, S. A. de C. V.

## - Nutrientes

El análisis químico de fósforo (P) y nitrógeno (N), así como sus fracciones: ortofosfatos, amonio y nitratos en las muestras de agua se realizó por medio de un espectrofotómetro portátil marca HACH Modelo DR2400, de acuerdo con las técnicas propuestas en el manual de operación (HACH, 2002):

- Fósforo total, método PhosVer3 con digestión ácida USEPA (0.06 a 3.50 mg/L P); método de molibdato con digestión ácida con persulfato (1 a 100 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ ).
- Ortofosfatos, método aminoácido (0.23 a 30.00 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ ), ácido ascórbico PhosVer3 USEPA (0.02 a 2.50 mg/L  $\text{PO}_4^{3-}$ ).
- Nitrógeno total, método de digestión con persulfato (10 a 50 mg/L N) (0.5 a 25.0 mg/L N).
- Amonio, método de silicilato (0.02 a 2.50 mg/L  $\text{NH}_3\text{-N}$ ).
- Nitratos, método de reducción por cadmio (0.01 a 0.50 mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$ ).

Para llevar a cabo la digestión de las muestras de fósforo total y nitrógeno total, se utilizó el digestor Digital Reactor Block 200 de la marca HACH Modelo DRB200.

El análisis de fósforo total en sedimento se realizó bajo la reacción del fósforo contenido en la muestra como ortofosfato con ácido molíbdico y se midió por espectrofotometría (APHA, 2005; DOF, 2001c). El N total en muestras de sedimento se llevó a cabo conforme al método de Kjeldahl. En este método los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con ácido sulfúrico concentrado en caliente. Cuando la descomposición se ha completado la disolución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio concentrado. El amoniaco liberado se destila y se adsorbe en una disolución de concentración conocida de ácido bórico (APHA, 2005; DOF, 2001a). Ambos análisis en sedimento se realizaron en el laboratorio acreditado IDECA, S. A. de C. V.

## - Metales

Se analizaron los siguientes metales pesados: Arsénico (As), Plomo (Pb), Cobre (Cu) y Zinc (Zn). La elección de estos elementos se efectuó con base en los metales reportados en Xochimilco con las mayores concentraciones (Sandoval-Contreras, 2008).

El método utilizado es la determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica, cuyo principio se basa en la generación de átomos en estado basal y en la medición de la cantidad de energía absorbida por estos, la cual es directamente proporcional a la concentración de ese elemento en la muestra analizada (APHA, 2005; DOF, 2001e); los valores se reportan en mg/L de muestra.

Los datos obtenidos de las muestras de agua y sedimento se han comparado con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad mexicana vigente que se menciona a continuación, ello con la finalidad de determinar los riesgos potenciales a los que están expuestos los diversos usuarios del sistema, así como los organismos que habitan en él:

- NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
- NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Para los valores de la matriz de agua se realizaron las siguientes observaciones en relación con los límites máximos permisibles que dicta la normatividad mexicana aplicable.

En los sitios La Santísima y Santana, dos de los datos obtenidos rebasan la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003a) para el fósforo total cuyo límite máximo permisible es de 20 mg/L durante la época cálida en el segundo muestreo.

La NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 2003 b) dicta un límite máximo permisible de  $\text{DBO}_5$  de 20 mg/L, el cual se rebasó en los sitios La Santísima y Santana en el primer muestreo y solamente en el sitio Cihualcoatl en el segundo muestreo.

En relación con las bacterias CF se rebasó el límite máximo permisible de 240 UFC/100 mL que dicta la NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 2003 b) en todos los sitios durante el primer muestreo, y en Cuemanco, San Gregorio y La Santísima en el segundo muestreo.

En la matriz de sedimento se detectaron valores de  $\text{DBO}_5$  muy por encima de lo permitido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003 a) para los cinco sitios en ambos muestreos. De igual manera, los metales Pb, Cu y Zn, se rebasan en los cinco sitios de estudio, así como el As para los sitios San Gregorio, La Santísima y Santana (valores máximos permisibles en mg/L;  $\text{DBO}$ : 75, As: 0.2, Cu: 4, Pb: 5 y Zn: 10).

El parámetro bacteriológico CF en sedimento se puede evaluar con base en la NOM-004-SEMARNAT-2002 (DOF, 2003 c). En ella se especifican los límites permisibles de CF para lodos y biosólidos. Los biosólidos, de acuerdo con la norma consisten en “lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento”, en este sentido los sedimentos de los canales de Xochimilco se aprovechan para actividades agrícolas. En la norma, el límite permisible de CF en biosólidos para aprovechamiento agrícola es de 2 millones de UFC/ 100 mL; en ninguno de los sitios de muestreo se rebasa este valor para ambas temporadas.

A continuación se muestran los parámetros medidos en las dos temporadas de muestreo, para agua y sedimento en cada uno de los sitios de estudio.

Para facilitar el análisis se le asignó a cada sitio de estudio la clave que se muestra a continuación:

Sitio de estudio	Clave
UNAM	Ch. 1
Cihualcoatl	Ch. 2
San Gregorio	Ch. 3
La Santísima	Ch. 4
Santana	Ch. 5

Respecto a la Conductividad Eléctrica (CE), se observaron mayores valores principalmente en el sitio Cuemanco y en San Gregorio durante el primer muestreo. En el resto de los sitios y el segundo muestreo los valores se mantienen constantes en un intervalo entre los 500 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La CE está relacionada con la resistencia que ofrece el agua al paso de la electricidad, en el caso de aguas contaminadas la presencia de iones incrementan la CE, para aguas residuales de tipo doméstico los valores se estiman entre los 50 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (APHA, 2005), lo cual se observa en todos los sitios durante el segundo muestreo (Figura 101).

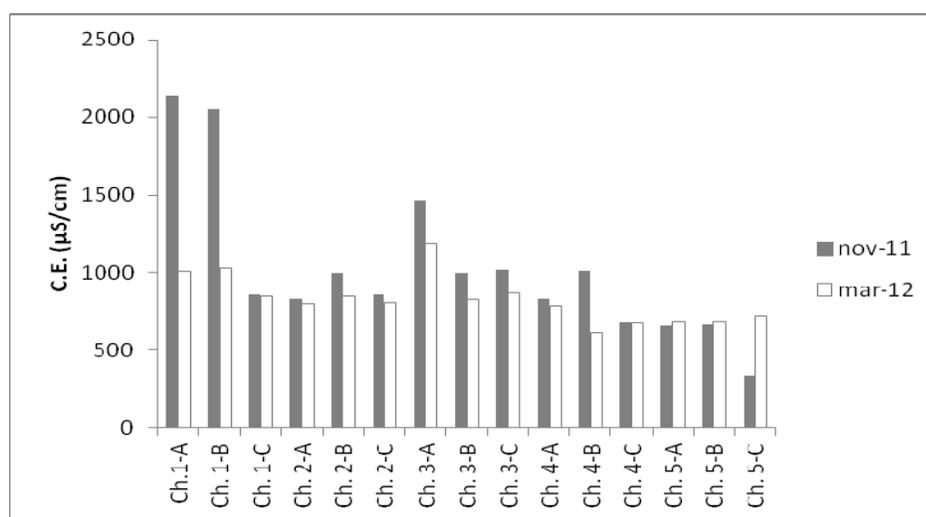


Figura 101. Valores de conductividad eléctrica para ambos muestreos en los cinco sitios de estudio.

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el agua presentan un comportamiento similar a la CE, ya que en Cuemanco y San Gregorio se tienen los datos más elevados para ambos muestreos (Figura 102).

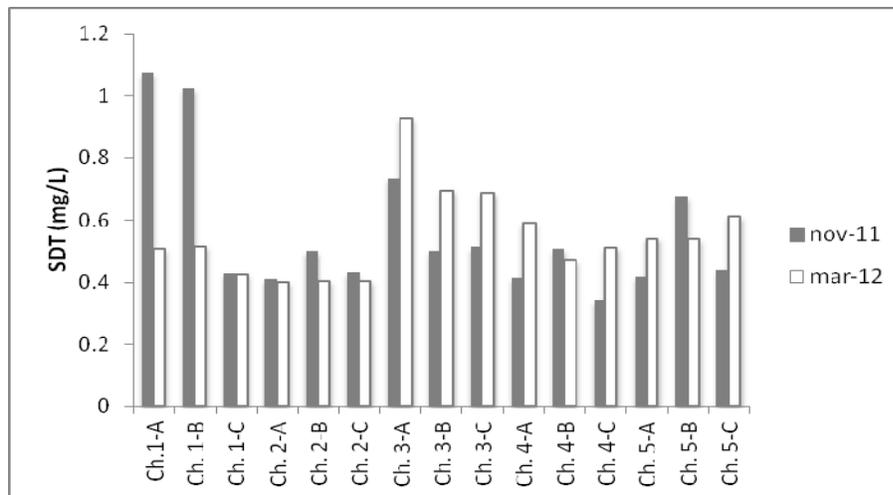


Figura 102. Sólidos Disueltos Totales para ambos muestreos en los cinco sitios de estudio.

El Oxígeno Disuelto (OD) osciló entre 0.1 y 18 mg/L, los resultados mostraron una variabilidad de éste en todos los sitios de muestreo (Figura 103).

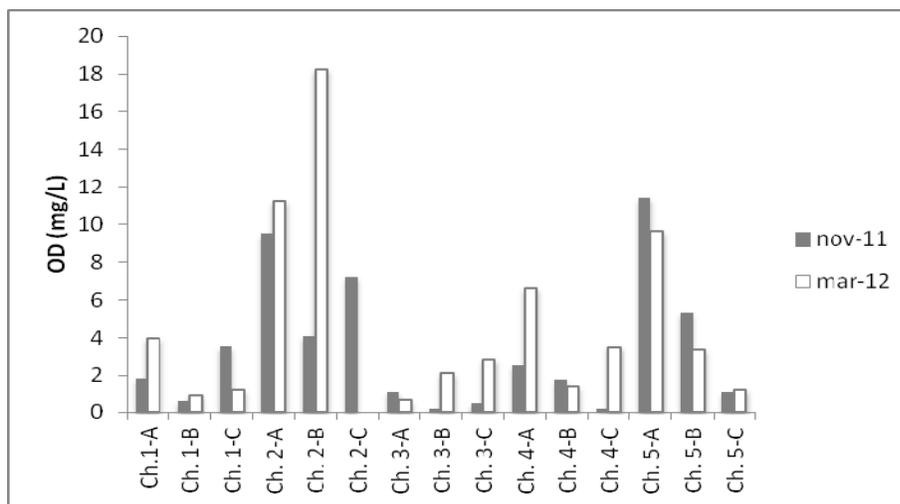


Figura 103. Oxígeno Disuelto para ambos muestreos en los cinco sitios de estudio.

La concentración de fósforo total (P tot.) y nitrógeno total (N tot.) en agua resultó elevada. Esto se debe a que los canales se recargan con agua parcialmente tratada, mismos que se contaminan con aguas no tratadas y agua de origen pluvial. La concentración total de estos elementos es

también un indicador del grado de eutrofización en el que se encuentra el sistema lacustre (Figura 104). En el sedimento también encontramos valores altos de ambos nutrientes y esto se debe principalmente a que el sedimento es una matriz en la que se favorece la concentración de muchos de los compuestos por su alto contenido de materia orgánica.

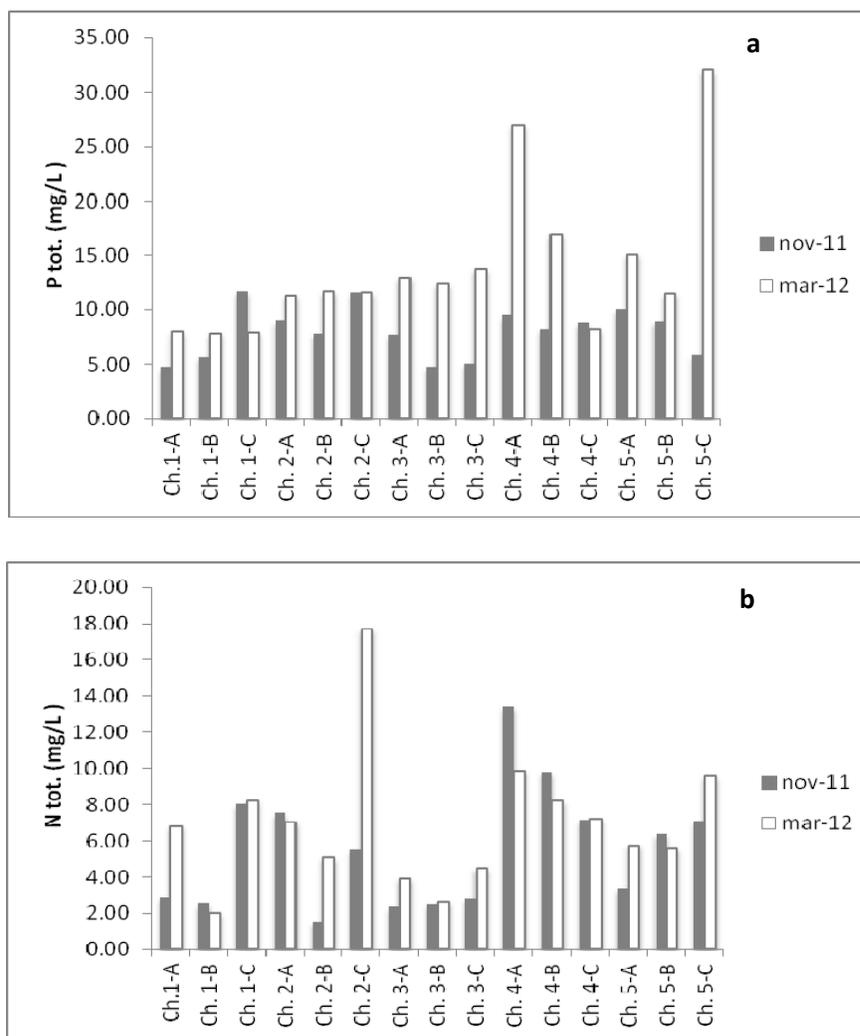


Figura 104. Valores de Fósforo total (P tot.) (a) y nitrógeno total (N tot.) (b) para ambos muestreos en los cinco sitios de estudio.

En relación con los parámetros de bacterias CF y EF tanto en agua como en sedimento, no se observan diferencias significativas entre ambos muestreos. Sin embargo, los valores son altos, lo que indica una afectación por contaminación de origen fecal (Figura 105). En el sedimento, la

cantidad de bacterias CF es menor que las EF (Figura 106), esto puede deberse a una alta salinidad en el sistema que impide eventualmente el desarrollo y mantenimiento de este grupo.

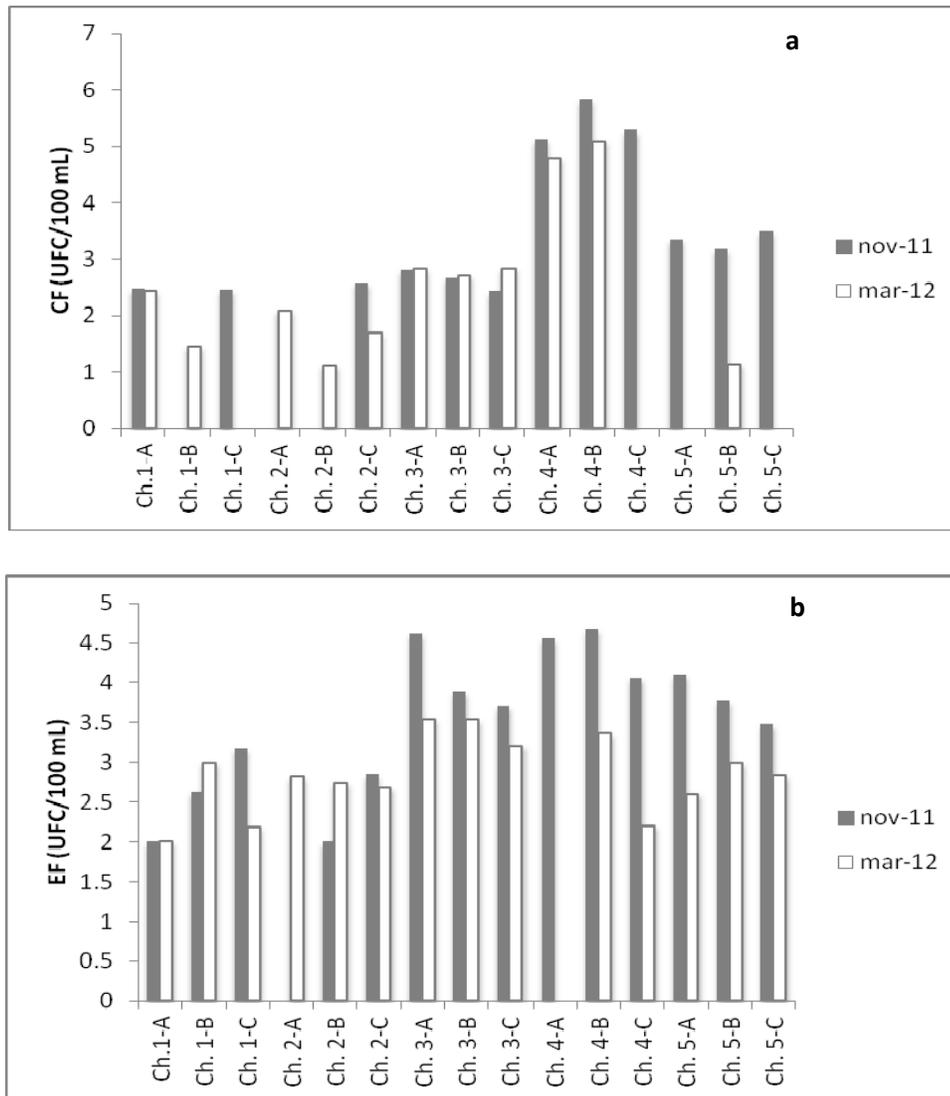


Figura 105. Densidad de CF (a) y EF (b) en agua para ambos muestreos en los cinco sitios de estudio.

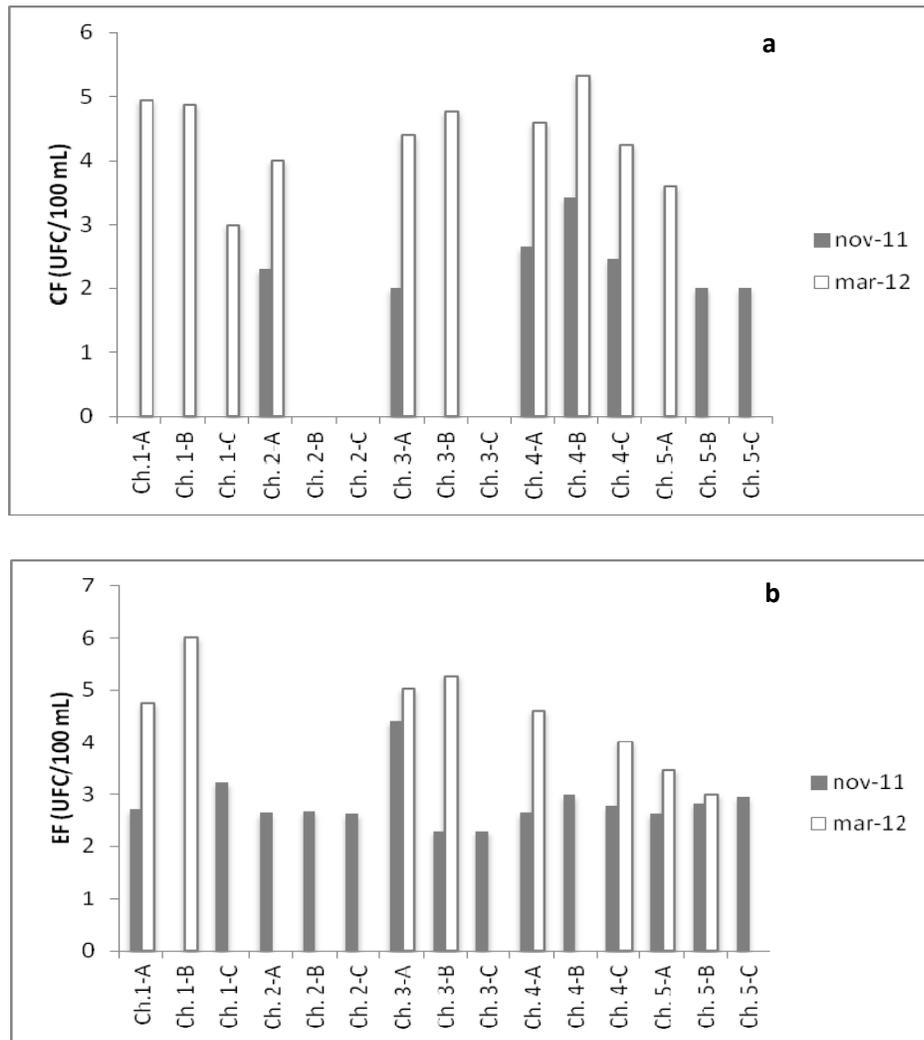


Figura 106. Densidad de CF (a) y EF (b) en sedimento para ambos muestreos en los cinco sitios de estudio.

El programa de monitoreo de calidad del agua desarrollado en este proyecto, ha permitido un mejor entendimiento de las condiciones del sistema lacustre de Xochimilco. El análisis de las diferentes variables estudiadas en los cinco sitios muestra una gran variabilidad en sus condiciones bióticas y abióticas. Estos resultados proveen un marco de referencia para generar propuestas para un mejor manejo en la zona.

Los datos obtenidos se han integrado en una base de datos que se presenta en el Anexo 3 bajo el nombre, “Parámetros fisicoquímicos y Microbiológicos de los cinco sitios”.

*3.5.1. Documento “Análisis comparativo del monitoreo continuo de variables bióticas y abióticas de cinco sitios del sistema lacustre de Xochimilco”.*

Para el sistema de monitoreo ambiental de parámetros físicos, químicos y biológicos en agua y sedimento de Xochimilco se seleccionaron los cinco sitios a partir del análisis espacial mencionado en la sección 1 (Restauración de apantles y chinampas) de este informe. Esta selección está en función de las características que presentan en cuanto a su ubicación, vegetación y tipo de uso de suelo o actividad que se realiza en estos sitios, considerando que son representativos del humedal de Xochimilco (ver sección 3.3). En el documento se describen los métodos analíticos utilizados para el monitoreo ambiental de Xochimilco así como los resultados. Dicho documento se encuentra en el Anexo 3 bajo el nombre: “Monitoreo de Variables Bióticas y Abióticas”.

Cabe mencionar que este documento contiene un análisis basado en datos históricos del sistema lacustre de Xochimilco, por lo que los resultados presentados en él, son diferentes de los resultados presentados en el presente informe.

## Aplicación de los recursos en caso de grupos u organizaciones

Directos:

- 4 pescadores
- 6 chinamperos
- 5 estudiantes
- 30 jornaleros
- 1 herrero

- 8 albañiles

Indirectos:

- 18 familiares de los chinamperos
- 16 familiares de los pescadores
- 90 familiares de los jornaleros
- 4 familiares del herrero
- 18 familiares de los albañiles

## Referencias Bibliográficas

American Public Health Association, American Water Work Association, Water Environmental Federation. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21ª ed. Port City Pres. Washington, DC: 9-56 a 9-76.

Contreras, A.V. 2006. Distribución potencial del “*Ambystoma mexicanum*” en los canales de la zona chinampera de Xochimilco. Tesis de maestría. UNAM. México, D.F.

Contreras, V., Martínez-Meyer E., Valiente-Riveros E. & Zambrano L. 2009. Recent decline and potencial distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation*. 142:2881-2885.

Diario Oficial de la Federación. 2001a. NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Diario Oficial de la Federación. 2001b. NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Diario Oficial de la Federación. 2001c. NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de Fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Diario Oficial de la Federación. 2001d. NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Diario Oficial de la Federación. 2001e. NMX-AA-051-SCFI-2001. Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Diario Oficial de la Federación. 2003a. NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Diario Oficial de la Federación. 2003b. NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Diario Oficial de la Federación. 2003c. NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y Biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

Diario Oficial de la Federación. 2000. NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudio, muestreo y análisis.

HACH.1999. Digesdahl digestion apparatus, Instrument manual. 8a Ed. HACH COMPANY. EU.

HACH. 2002. Water analysis Handbook. 4a. Ed. HACH COMPANY. California, EU. 1260.

Hynes H. B. N. 1983. The ecology of running waters. 4<sup>a</sup> ed. Liverpool University Press. Great Britain: 1-13.

Mudroch, A. y S. D. MacKnight, S. D. 1994. Handbook of Techniques for Aquatic Sediment Sampling. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.

Murray, P. R., E. J. Baron, M. A. Pfaller, F. C. Tenover y R. H Yolken. (eds). 1995. Manual of Clinical Microbiology. American Society for Microbiology. Washington D. C. 1482.

Sandoval-Contreras, J. 2008. Evaluación de la calidad del agua en los canales de Xochimilco para su recuperación ecológica. Tesis de Maestría. UNAM. 96.

Zambrano, L., Contreras, V., Mazari-Hiriart, M. y Zarco-Arista A. 2009. Spatial Heterogeneity of Water Quality in a Highly Degraded Tropical Freshwater Ecosystem. *Environmental Management* 43:249-263.

Zambrano, L. Valiente, E. y Vander Zanden J. 2010. Food web overlap between the native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and the exotics carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biological Invasions* 12: 3061-3069.