



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE**

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**INFORME FINAL DE SERVICIO
SOCIAL**

Plantas del sistema agrícola chinampa del Lago de Xochimilco: ¿reservorios de hongos del suelo y de metales pesados?

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
BIÓLOGO**

QUE PRESENTA EL ALUMNO

Ricardo Javier Nava Ramírez

**Matrícula
2152033382**

ASESOR

**Dr.
Facun
do
Rivera
Becerr
il**

Ciudad de México

20 de Mayo de 2024

ÍNDICE

PÁGINA

• Resumen.....	3
• Introducción y antecedentes.....	4
• Objetivos.....	7
• Metodología.....	8
• Resultados y discusión.....	10
• Conclusiones.....	32
• Bibliografía.....	33

RESUMEN

Desde épocas prehispánicas, la agricultura en las chinampas es una de las actividades económicas de mayor tradición en el Lago de Xochimilco. Esta zona es de gran importancia para la población local, quienes producen alimentos vegetales, así como plantas de ornato, lo que genera una necesidad de conocer la interacción de los suelos y sus componentes con las plantas, y a su vez de las plantas con los hongos de su rizosfera. Mención especial merecen los elementos esenciales y potencialmente tóxicos presentes en los suelos, que podrían representar un problema agronómico y de salud pública. La acumulación de los mismos en los tejidos de las plantas de consumo humano, particularmente de elementos incluyendo el plomo (Pb), aluminio (Al) y cadmio (Cd) pueden ser perjudiciales. La mayoría de las plantas de las chinampas están asociadas con una gran diversidad de microorganismos, específicamente en la rizosfera, lo que puede determinar su comportamiento y adaptación al estrés edáfico. El objetivo fue evaluar el papel de las plantas de chinampa como un reservorio de elementos potencialmente tóxicos y de hongos del suelo en el Lago de Xochimilco. Fueron caracterizados física y químicamente los sustratos adyacentes a las raíces de algunas plantas creciendo, algunas de ellas de carácter alimenticio, otras de ornato y algunas más en estado silvestre. Se evaluaron los contenidos de elementos esenciales y de elementos potencialmente tóxicos en el suelo a diferentes profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm, así como en los tejidos aéreos y en las raíces de las plantas; también, se analizó la presencia de hongos en la zona rizosférica de una planta silvestre. Los elementos tóxicos Cd, Pb y Al nunca rebasaron los niveles permitidos para el consumo humano y en algunos casos el contenido de elementos esenciales fue el mínimo permitido; mención especial merece el Al al destacar con concentraciones elevadas en los suelos. El aislamiento y descripción de los hongos de la rizosfera dio como resultado un total de 15 colonias considerando su morfología. Este trabajo pone en evidencia que las plantas de las chinampas del Lago de Xochimilco, particularmente a nivel de raíz, son reservorios de elementos potencialmente tóxicos y de hongos microscópicos que pudieran implicar diferente papel en el sistema.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Las chinampas son un agrosistema de origen prehispánico, construido artificialmente en zonas del Lago de Xochimilco-Chalco, donde la irrigación se hace por infiltración. Las chinampas surgieron, de acuerdo con los especialistas, alrededor del año 200 a.C., aunque también las sitúan hacia el año 800 d.C. Entre 1400 y 1600 son los años de apogeo de las chinampas en México (Sanders *et al.*, 1997; Quiñonez Amézquita, 2005). Tradicionalmente, en las chinampas el maíz ha sido el principal producto sembrado y el más constante a través de los años. El tomate, chile, calabaza, frijol, ejote, chíca, amaranto, chayote y chilacayote también han sido de los cultivos más importantes. A raíz de la llegada de los españoles, progresivamente se fueron añadiendo hortalizas como el pepino, ajo, cebolla, acelga, cilantro, rábano, lechuga, poro y zanahoria (Jiménez, 2013). Actualmente las chinampas son isletas de forma irregular, que aún conservan la combinación entre plataformas y canales. Las chinampas están bordeadas por huejotes o ahuejotes (*Salix* spp.) que fueron plantados a la orilla para retener el suelo y evitar su erosión. El área de las chinampas se alterna con zonas desecadas del fondo del Lago de Xochimilco, que hoy son tierras divididas en parcelas bajo el régimen de propiedad ejidal (Quiñonez Amézquita, 2005).

En la zona hidrológica de Xochimilco, al sur de la zona metropolitana de la Ciudad de México, hay 189 km de canales que han sido contaminados con el aporte de aguas residuales, desechos domésticos e industriales, productos agrícolas y filtraciones del sistema de drenaje. Lo anterior ha afectado diferentes especies de seres vivos que habitan en la zona, y provoca una disminución en su biodiversidad (Juárez-Figueroa *et al.*, 2003). La desecación de gran parte del Lago de Xochimilco y la acumulación de sales han afectado la agricultura chinampera que lo caracterizó, por lo que se encuentra seriamente amenazada, y provoca la extinción de las especies autóctonas de los canales y de las chinampas (Ramos-Bello *et al.*, 2001). Entonces, en la actualidad, el humedal lacustre de Xochimilco es un ecosistema degradado que, al igual que la mayoría de los humedales urbanizados del mundo, está siendo amenazado por la expansión urbana, la desecación de fuentes naturales que alimentan el sistema, y la contaminación con agua de los drenajes y otros residuos orgánicos e inorgánicos. Esta situación afecta los servicios ecosistémicos que provee a los habitantes de la zona y áreas aledañas (Mendoza Correa, 2018). El sistema chinampa no sólo cuenta con una riqueza biológica, sino también con un patrimonio cultural, un sistema agrícola, y técnicas o prácticas tradicionales. Estas características forman parte de un importante sistema biocultural dentro de la principal urbe del país (Mendoza Correa, 2018).

Diferentes especies de microorganismos están presentes en los suelos interactuando con las plantas, principalmente en la rizosfera, que es el área adyacente a las raíces donde se da un intercambio bidireccional de metabolitos microbianos y vegetales. En la rizosfera se encuentran organismos patógenos, inoos y benéficos que tienen una gran influencia sobre el desarrollo vegetal. Entre los grupos de microorganismos más relevantes se incluyen los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y los hongos endófitos septados oscuros, ESO (Sarabia *et al.*, 2010). Mediante la exudación de compuestos orgánicos en la rizosfera, se generan diferentes microambientes donde se intensifica el crecimiento y la actividad de la comunidad microbiana, lo que se refleja en la actividad enzimática extracelular

responsable de la disponibilidad y reciclaje de nutrientes (Mendez y Maier, 2008; Philippot *et al.*, 2013).

A pesar de que el sistema de cultivo chinampero ha sido utilizado desde tiempos prehispánicos, se desconoce el rol que desempeñan los HMA y los hongos ESO en la producción de plantas de interés comercial y en plantas endémicas de la zona lacustre de Xochimilco (Heredia *et al.*, 1988). La relación HMA-planta, denominada micorriza, implica la absorción de nutrimentos del suelo por medio de las hifas y su transporte al sistema radical, mientras que la planta aporta al hongo compuestos orgánicos metabolizados durante la fotosíntesis (Camargo-Ricalde *et al.*, 2012). Sin embargo, el papel de las micorrizas, además de los nutrimentos, también se basa en la protección contra patógenos y contra factores abióticos como altos niveles de salinidad y presencia de metales pesados (Azcón-Aguilar *et al.*, 2002).

Los hongos ESO son Ascomicetos que invaden las raíces, tienen hifas con septos, cuentan con una pared celular melanizada (Cisneros *et al.*, 2010) y pueden colonizar el sistema radical de una manera extracelular e intracelular (Jumpponen, 2001). Los ESO tienen la capacidad de formar asociaciones que van desde la patogenicidad hasta la mutualista; cuando se da esta última hay un aumento en la biomasa vegetal y una mayor capacidad de absorción de nutrimentos como el fósforo y el nitrógeno (Salvarredi *et al.*, 2010). Sin embargo, debido a que los hongos ESO y las plantas pueden presentar diferentes niveles de interacción, no siempre quedan establecidas sus relaciones interespecíficas, ya que dependen de las condiciones ambientales y ecológicas. Habitualmente, los ESO co-colonizan las plantas asociadas con los HMA. Los ESO pueden optimizar el funcionamiento de algunas plantas adaptadas a climas adversos, a través del mejoramiento de los mecanismos de absorción de nutrimentos esenciales y de agua para la sobrevivencia vegetal (Lugo *et al.*, 2011).

El riego de las chinampas se basa en agua infiltrada y/o extraída directamente de los canales, la cual es una mezcla de agua de lluvia, residual sin tratamiento alguno, y residual tratada sin probablemente ningún control en el contenido de metales pesados (también denominados elementos potencialmente tóxicos). Cuando se riegan las chinampas durante largos periodos de tiempo, los metales pesados y sales incluyendo sodio tienden a acumularse en la capa superficial, así como en los tejidos vegetales de cultivos de interés comercial (Ramos-Bello *et al.*, 2001). Esta problemática supone una preocupación en el ámbito de salud pública por su toxicidad y persistencia. Ello atenta contra la seguridad alimentaria de los consumidores; el campesino y su familia, la población adyacente a la zona y las personas consumidoras de los productos derivados directamente o indirectamente del riego, constituyen el sector de más alto riesgo, donde los niños y las personas de la tercera edad son los más vulnerables (CONAGUA, 2010; Prashar *et al.*, 2014; Elizondo *et al.*, 2016; Feng *et al.*, 2017).

La movilidad de los metales en los sistemas acuáticos es relevante debido a que juegan un rol dentro de los procesos metabólicos. Una concentración deficiente de los elementos considerados esenciales implica que las condiciones no sean favorables para el desarrollo de los organismos; por otro lado, si las concentraciones son excesivas pueden ser tóxicas e inhibir los procesos biológicos. Por eso es importante la cuantificación e identificación de la forma química en que se encuentran los metales pesados (Elkins y Nelson, 2001; Cabaniss, 2009); es así

como algunos de ellos pueden alcanzar niveles tóxicos. Estos niveles pueden variar según el elemento; por ejemplo, Kabata-Pendias (2011) considera que el Cd a partir de los 5 mg/kg es tóxico, mientras que el Pb lo es a partir de 300 mg/kg. También el Zn, al igual que el Pb, debe alcanzar concentraciones de hasta 300 mg/kg para considerarse tóxico, mientras que el Ni lo es desde 60 mg/kg. La NOM-021-RECNAT-2000 señala que el Cd es peligroso desde los 3 mg/kg, el Pb a partir de los 100 mg/kg, y el Ni a niveles de 100 mg/kg.

El rescate del sistema y de las tradiciones del humedal de Xochimilco debe ser una prioridad para las instituciones gubernamentales y para la población de la Ciudad de México. Las propuestas de restauración deben enfocarse en la consecución de la sostenibilidad del Lago (Mendoza Correa, 2018). El crecimiento de la población mundial, aunado al consumo insostenible, demanda recursos naturales y servicios ecosistémicos en todo el planeta. Estas acciones han deteriorado el funcionamiento natural de los humedales, que son considerados entre los ecosistemas más importantes debido a la cantidad de servicios ecosistémicos que brindan (Mitsch y Gosselink, 2007 en Mulkeen *et al.*, 2017; Mendoza Correa, 2018).

En la actualidad existen tecnologías que reducen la contaminación de metales pesados y de otros elementos tóxicos en el suelo; los métodos biológicos, como la biorremediación, utilizan plantas nativas y sus microorganismos incluyendo los hongos ESO y los HMA. La biorremediación es uno de los métodos más comunes en la actualidad debido a que el tiempo que emplea es relativamente corto en comparación con la recuperación de los suelos sin intervención. Esta técnica involucra poblaciones nativas de plantas y microorganismos y procesos naturales como la biodigestión y la acumulación de metales pesados en tejidos vegetales y en células microbianas. La biorremediación se aplica para mitigar el impacto en los ecosistemas como consecuencia de la actividad antropogénica, como es el caso del humedal del Lago Xochimilco (Mendoza Correa, 2018).

La información aquí vertida demuestra la importancia cultural y productiva de los sistemas chinamperos. Este estudio toma relevancia al notar que la información respecto a la interacción activa de hongos y plantas como biorremediadores y controladores de metales pesados en el Lago de Xochimilco son escasos o casi nulos. El tema debería ir tomando cada vez más fuerza en esta zona situada en la periferia de la ciudad, que produce diferentes hortalizas y plantas para el bienestar humano.

OBJETIVO

Evaluar el papel de las plantas de chinampa como un reservorio de hongos del suelo y de metales pesados

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Lago de Xochimilco, en dos áreas con chinampas enfocadas en la producción vegetal; uno de los sitios de cultivo fueron parcelas a cielo abierto, y el otro un vivero. Asimismo, se eligió una zona de vegetación silvestre en el área ejidal de San Gregorio donde los puntos de extracción fueron ubicados en las coordenadas 19°16'55.9"N, 99°04'13.5"W (Fig. 1). Los tres sitios están sujetos a irrigación con aguas propias del Lago de Xochimilco. En total se eligieron once especies vegetales que se encuentran enlistadas en la tabla 1.

Tabla 1. Plantas utilizadas en el presente estudio.

Nombre Científico	Nombre Común	Dominio	Clave
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Manzanilla	Introducida/Naturalizada	MANZ
<i>Suaeda edulis</i> Flores Olv. & Noguez	Romerito	Nativa	ROME
<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	Quelite	Nativa	AMAR
<i>Raphanus sativus</i> L.	Rábano	Introducida	RABA
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Verdolaga	Nativa	PORT
<i>Lactuca sativa</i> L. Cv. Italiana	Lechuga	Introducida	LECH
<i>Limonium sinuatum</i> (L.) Mill.	Siempreviva	Introducida/Naturalizada	AST
<i>Matthiola incana</i> (L.) W.T. Aiton	Alhelí	Introducida/Naturalizada	ALE
<i>Picris echioides</i> L.	Raspasayo	Introducida/Naturalizada	ASTE
<i>Solanum rostratum</i> Dunal	Duraznillo	Nativa	SOLA
<i>Hordeum jubatum</i> L.	Cola de ardilla	Nativa	POAC

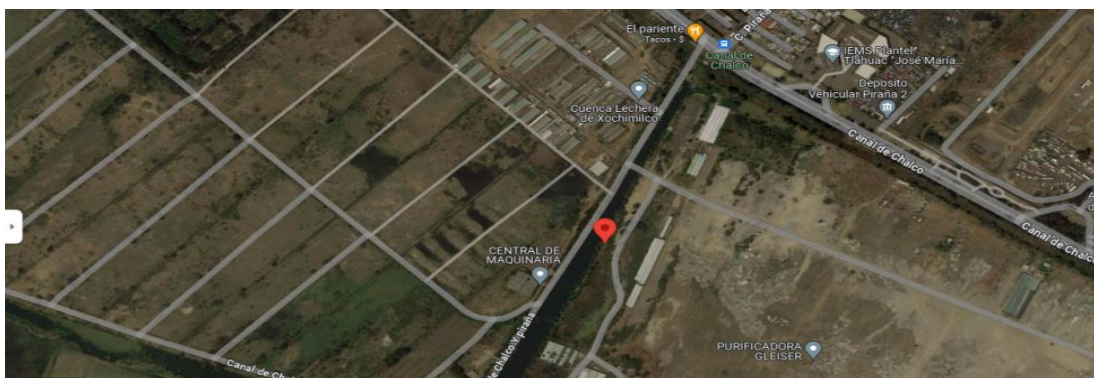


Figura.1. Imagen satelital del área de estudio marcado en rojo, en la zona ejidal de San Gregorio Xochimilco (19°16'55.9"N, 99°04'13.5"W).

Los materiales y métodos utilizados fueron los siguientes:

- a) La caracterización de las propiedades físicas (densidad aparente, densidad real, porcentaje de espacio poroso, humedad, textura) y químicas (pH; contenido en materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y fósforo disponible; capacidad de intercambio catiónico,

concentración de iones intercambiables) de los suelos se realizaron con base en los lineamientos establecidos por la NOM-021-SEMARNAT-2000.

- b) Los resultados de la concentración de los diferentes elementos químicos tanto en los suelos, como en los tejidos vegetales, fueron proporcionados en dos matrices en Excel. Brevemente, los suelos fueron secados a temperatura ambiente y tamizados con una luz de malla de 2 mm. La estimación de la concentración de los diferentes elementos químicos en los tejidos vegetales (raíces, tallos, hojas, flores, frutos) se realizó mediante la técnica de digestión asistida por microondas. Se lavó el tejido vegetal y fue deshidratado para después molerlo y tamizarlo. Posteriormente se pesó 1 g de muestra y se depositó en tubos Vessel donde se agregó HNO₃. Ulteriormente se introdujo la muestra en un horno de microondas para su digestión. Al terminar se filtró y se agregó en tubos para aforar con agua Milli-Q y realizar lecturas en un espectrofotómetro de absorción atómica. Después se realizaron curvas de calibración para cada elemento previo a la determinación de su concentración (NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004). Las estimaciones en los suelos se hicieron en tres réplicas, a cada una de las dos profundidades: 0-20 cm y 20-30 cm. En los tejidos vegetales, las estimaciones se llevaron a cabo en tres plantas de cada especie y se consideraron, por un lado, las raíces y, por otro lado, los tejidos aéreos (tallos, hojas, flores, frutos).
- c) El aislamiento de hongos presentes en el suelo circundante a las raíces de la especie vegetal *Picris echioides* se hizo en medio agar rosa de bengala con amoxicilina como antibiótico a una concentración de 500 mg/l, con una incubación a temperatura ambiente durante dos semanas. Las colonias fueron recultivadas en medio de papa-dextrosa-agar bajo las mismas condiciones, para ser caracterizadas macromorfológicamente.
- d) Los resultados fueron objeto de estadística descriptiva y de análisis de estadística básica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas y químicas de los suelos

En la tabla 2 se registran las propiedades físicas y químicas de los suelos de solamente seis de las plantas, a dos profundidades, 0-20 y 20-30 cm. Estos resultados mostraron una humedad mayor al 50% en todos los casos; en días anteriores a la toma de muestras se reportó un clima lluvioso. Por su parte, el porcentaje de espacio poroso fue óptimo para la producción vegetal con un intervalo del 64% al 71%, donde casi todas las zonas más profundas mostraron niveles ligeramente mayores que las menos profundas. El contenido de materia orgánica fue más variable puesto que osciló del 8.2 al 15.1%, que es un porcentaje adecuado para el crecimiento vegetal. Por otro lado, el pH varió de 7.5 a 8.2, mientras que la capacidad de intercambio catiónico estuvo comprendida entre 59 y 71 Cmol/kg. La conductividad eléctrica para la planta *Raphanus sativus* fue de 1.3 a 1.6 dS/m, en *Matthiola incana* de 2.4 a 2.8 dS/m, mientras que en el resto fluctuó entre 3.1 y 4.8 dS/m. En cuanto al contenido de bases intercambiables, el Ca^{2+} fue de 6.2 a 7.1 mEq/100 g, y el Mg^{2+} de 3.4 a 6.6 meq/100 g en todos los casos. Según los datos de Kabata-Pendias (2011), los niveles de humedad, espacio poroso, materia orgánica, pH y capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, Ca^{2+} y Mg^{2+} se encuentran dentro de los óptimos para la producción agrícola. Asimismo, la NOM-021-RECNAT-2000 señala que estos datos mencionados reflejan cantidades y porcentajes bajos pero óptimos para la producción agrícola.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos de cinco especies vegetales en el ejido de San Gregorio Xochimilco

Especie Vegetal	Propiedades físicas			Propiedades químicas					
	Profundidad cm	Humedad %	Espacio poroso %	MO %	pH H ₂ O	CIC Cmol/kg	CE dS/m	Ca ²⁺ mEq/100 g	Mg ²⁺ mEq/100 g
<i>M. chamomilla</i>	0-20	51.3	66.6	15.1	7.8	68.7	4.8	6.7	5.3
	20-30		64.4	14.4	7.6	60.9	3.8	6.2	6.6
<i>M. incana</i>	0-20	76.1	68.8	10.2	7.9	70.9	2.4	6.9	5.1
	20-30		70.4	9.4	8	65.3	2.8	7.1	3.9
<i>S. edulis</i>	0-20	76.1	68.7	10.4	8.2	67.2	3.6	6.9	4.2
	20-30		70.7	9.8	8	65.3	3.1	6.7	5.3
<i>R. sativus</i>	0-20	65.3	69	10.5	7.5	69.9	1.3	6.4	4
	20-30		69.7	9.4	7.8	67.2	1.6	6.4	3.4
<i>L. sinuatum</i>	0-20	71.8	67.7	10.6	7.7	68.4	3.7	7.1	3.7
	20-30		69.6	9.9	7.8	69.2	3.3	6.7	4.2
<i>Ch. berlandieri</i>	0-20	65.8	64.2	8.9	7.8	61.7	3.4	6.9	4.8
	20-30		64.7	8.2	8.0	59.0	3.6	6.9	3.7

Identificación de las plantas

Las plantas seleccionadas fueron las más abundantes y significativas del área, producidas en las chinampas donde se aplican procedimientos tradicionales, con riego constante desde los canales del lago. De la misma manera, se tomaron plantas creciendo a la intemperie en las áreas silvestres, sin intervención humana. Se identificaron seis plantas comestibles: *Matricaria chamomilla*, *Suaeda edulis*, *Chenopodium berlandieri*, *Raphanus sativus*, *Portulaca oleracea* y *Lactuca sativa* (Tabla 3); dos plantas de ornato: *Limonium sinuatum* y *Matthiola incana* (Tabla 4); tres plantas silvestres: *Picris echioides*, *Solanum rostratum* y *Hordeum jubatum* (Tabla 5). En estas mismas tablas se resaltan algunas características de las plantas.

CONABIO (2019) y Pronatura (2021) catalogaron y describieron las plantas de la reserva de San Gregorio Xochimilco. Las plantas del presente estudio están consideradas como nativas, introducidas e introducidas naturalizadas en esta área. Las plantas de cultivo en su mayoría son nativas, como por ejemplo *Suaeda edulis*, *Chenopodium berlandieri* y *Portulaca oleracea*. En tanto, *Matricaria chamomilla*, *Lactuca sativa* y *Portulaca oleracea* se catalogan como introducidas naturalizadas, y *Raphanus sativus* en categoría de introducida. Las plantas de ornato que se seleccionaron se consideran introducidas naturalizadas. Por último, las tres especies de plantas silvestres fueron categorizadas por las instituciones mencionadas como nativas.

Tabla 3. Plantas comestibles de Xochimilco que se utilizaron en el presente proyecto







Nombre científico	Descripción	Imagen
<i>Matricaria chamomilla</i>	<p>Nombre común: Manzanilla Hábito y forma de vida: Hierba anual Tamaño: Hasta 60 cm de alto Tallo: Ramificado Hojas: Alternas, de 5 a 7 cm de largo Estatus migratorio en México: Introducida/naturalizada</p>	
<i>Suaeda edulis</i>	<p>Nombre común: Romerito Hábito y forma de vida: Planta arbustiva, perenne Tamaño: De 0.6 a 1 m de alto Tallo: Cilíndrico y estriado cuando joven Hojas: Alternas, sésiles, verdes Estatus migratorio en México: Nativa</p>	
<i>Chenopodium berlandieri</i>	<p>Nombre común: Quelite Hábito y forma de vida: Hierba erecta Tamaño: De 40 cm a 2 m de alto Tallo: Simple o ramificado hacia el ápice Estatus migratorio en México: Nativa</p>	
<i>Raphanus sativus</i>	<p>Nombre común: Rábano Hábito y forma de vida: Hierba anual o bianual, erecta, ramificada Tamaño: De 0.5 a 1.20 m de altura Tallo: Liso y glabro o algo hispido, ampliamente ramificado Hojas: Finamente pubescentes con bordes irregularmente dentados Estatus migratorio en México: Introducida</p>	
<i>Portulaca oleracea</i>	<p>Nombre común: Verdolaga Hábito y forma de vida: Hierba carnosa, rastrera Tamaño: De 5 a 40 cm de largo Tallo: A veces rojizo, ramificado Hojas: Alternas, obovado-cuneadas a espatuladas Estatus migratorio en México: Nativa</p>	
<i>Lactuca sativa</i>	<p>Nombre común: Lechuga Hábito y forma de vida: Hierba carnosa Tamaño: De 7 a 180 cm de largo Hojas: Alternas, sésiles Estatus migratorio en México: Naturalizada</p>	

Tabla 4. Plantas de ornato de Xochimilco que se utilizaron en el presente proyecto.






Nombre científico	Descripción	Imagen
<i>Limonium sinuatum</i>	<p>Nombre común: Siempre viva azul</p> <p>Hábito y forma de vida: Hierba perenne o de vida corta</p> <p>Tamaño: Hasta 90 cm</p> <p>Tallo: Los tallos que llevan las inflorescencias muy ramificados, alados</p> <p>Hojas: Basales, de hasta 12 cm de largo, angostas</p> <p>Estatus migratorio en México: Introducida naturalizada</p>	
<i>Matthiola incana</i>	<p>Nombre común: Alhelí</p> <p>Hábito y forma de vida: Hierba perenne o de vida corta</p> <p>Tamaño: Hasta 130 cm</p> <p>Tallo: Los tallos rectos</p> <p>Hojas: Basales, angostas</p> <p>Estatus migratorio en México: Introducida naturalizada</p>	

Tabla 5. Plantas silvestres de Xochimilco que se utilizaron en el presente proyecto.

Nombre científico	Descripción	Imagen
<i>Picris echioides</i>	<p>Nombre común: Raspasayos</p> <p>Hábito y forma de vida: Planta anual</p> <p>Tamaño: De hasta un metro de alto</p> <p>Tallo: Ramificado y estriado</p> <p>Hojas: Las basales angostamente oblanceoladas a elípticas</p> <p>Estatus migratorio en México: Exótica</p>	
<i>Solanum rostratum</i>	<p>Nombre común: Duraznillo</p> <p>Hábito y forma de vida: Hierba erecta</p> <p>Tamaño: Hasta de 1 m de alto.</p> <p>Tallo: Provisto de numerosas espinas subuladas</p> <p>Hojas: Ovaladas en contorno general</p> <p>Estatus migratorio en México: Nativa</p>	
<i>Hordeum jubatum</i>	<p>Nombre común: Cola de ardilla</p> <p>Hábito y forma de vida: Planta herbácea anual o perenne</p> <p>Tamaño: De hasta 75 cm de alto</p> <p>Hojas: Lígulas diminutas, truncadas</p> <p>Estatus migratorio en México: Nativa</p>	

Elementos esenciales en suelos

En la tabla 6 se aprecian las cantidades de los elementos esenciales en suelos de las plantas comestibles producidas en Xochimilco, tales como cobre (Cu), hierro (Fe), calcio (Ca), potasio (K), manganeso (Mn), sodio (Na), fósforo (P) y magnesio (Mg) a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm. La tabla 7 muestra los elementos esenciales en los suelos de las plantas de ornato, y la tabla 8 en los suelos de las plantas silvestres.

En los suelos de las plantas comestibles (Tabla 6), los contenidos de Fe, Ca, Mn y Mg no mostraron diferencias entre profundidades. Salvo en el rábano, existieron diferencias significativas en el contenido de Cu, donde la profundidad de 0 a 20 cm presentó los niveles más elevados. El K exhibió contenidos más elevados en todas las plantas a la profundidad 0 a 20 cm con excepción de la manzanilla. El Na tuvo diferencias significativas en los suelos de la verdolaga y manzanilla. El P sólo presentó diferencias significativas en el rábano, con un mayor contenido de 0 a 20 cm. En cuanto a las plantas de ornato (Tabla 7), hubo diferencias significativas entre profundidades sólo en Fe y Na; el Fe en flor violeta presentó los datos más elevados a los 20 a 30 cm; en alhelí y flor violeta el Na presentó mayor cantidad también a los 20 a 30 cm. Por último, en las plantas silvestres (Tabla 8), el Cu mostró niveles más elevados a 0-20 cm en amaranto; el Fe en la *Poaceae* también a 0 a 20 cm se reportó un mayor contenido. Por su parte, el K presentó diferencias en el amaranto, la *Solanaceae* y la *Asteraceae* con mayor abundancia a la profundidad de 0 a 20 cm. Finalmente, el Na en la *Asteraceae* exhibió mayor concentración a 0-20 cm.

En un análisis global se puede notar una diferencia entre los contenidos de elementos esenciales entre las plantas producidas y las plantas silvestres. Los suelos de las plantas producidas son las que reportan suelos más ricos en estos elementos, donde en casi todos los casos el contenido en las profundidades de 0 a 20 cm fue más elevado. Sólo el Na en las plantas producidas tuvo contenidos más elevados a mayor profundidad, a diferencia de las plantas silvestres en que fue más abundante en la superficie. Esto podría indicar que los agricultores buscan mantener la salinidad del suelo lo más baja posible; de la misma manera, el enriquecimiento de los suelos puede deberse a los tratamientos agrícolas.

Kabata-Pendias (2011) refiere el contenido de diferentes elementos en los suelos de granjas en el mundo. Al comparar los datos, los contenidos reportados para el Cu se mantienen en un nivel bajo en comparación con naciones como Francia, Finlandia y Alemania que reportan niveles de los 117 a los 1037 mg/kg, y muy parecido al reportado en los suelos en República Checa. Estos contenidos de Cu se encuentran muy por debajo de los límites máximos de fertilidad donde el valor máximo se encuentra en 300 mg/kg, ya que ningún valor excedió los 40 mg/kg. La NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos indica que los contenidos en todos los casos son adecuados para la producción en el caso de Cu.

Asimismo, la NOM-021-RECNAT-2000 señala que los contenidos de P en las plantas se encuentran elevados pero no a un punto que podría interferir con la fertilidad del suelo. La norma hace referencia a que los suelos silvestres se encuentran con un contenido de Na alto pero no perjudicial, aunque sí se podrían clasificar como moderadamente salados. Los niveles de Mn y Mg son adecuados para la producción en todos los casos. Todos los resultados señalaron que los suelos son aptos y fértiles para la producción; sólo en el caso de los suelos silvestres se reportaron contenidos más bajos pero que no representan deficiencia alguna.

Tabla 6. Concentración de elementos esenciales en suelos de plantas comestibles de Xochimilco a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en ambas profundidades de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas entre ambas profundidades según una prueba t de Student.

	Verdolaga		Romero		Manzanilla		rábano		Amaranto-quelite	
	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm	0-20	20-30	0-20	20-30
Cu (mg/kg)	38.34±0.15*	34.86±0.43*	24.66±0.14*	22.73±0.41*	21.2±0.35*	20.18±0.44*	21.43±2	26.86±3.12	20.17±0.22*	17.99±0.01*
Fe (mg/kg)	11074.53±1	11009.73±6	9344.18±22	8938.51±22	8467.03±10	9415.68±47	7900.7±391	8363.87±9	7741.25±21	7596.3±59.99
Ca (mg/kg)	12441.34±3	12327.64±1	16513.07±1	17171.65±3	17963.68±2	18334.17±1	17845.73±9	17997.61±	16227.78±4	16041.4±8
K (mg/kg)	04.95	94.49	74.11	96.35	53.47	32.03	68.47	85.88	91.55	9.77
K (mg/kg)	2895.59±54	1306.87±15	1750.28±16	1368.74±27	1148.96±12	1191.78±4.	1832.19±98	1517.6±22.	1142.61±22	997.06±9.14*
Mn (mg/kg)	206.04±3.6	208.34±12.	158.84±0.6	164.95±3.3	182.13±2.3	186.15±0.9	159.43±6.3	154.87±1.7	116.27±2.8	131.34±0.94
Na (mg/kg)	4	26	1	6	5	9	5	8	9	4
Na (mg/kg)	2386.75±22	1852.91±23	1593.37±17	1579.18±29	2389.36±27	2733.84±14	2516.13±14	2558.53±6.	3752.51±99	3602.8±19.77
P (mg/kg)	3393.07±44	3254.4±122	1722.63±18	1575.86±69	1420.23±37		1403.37±40	1353.34±1	1050.84±22	1115.12±1
P (mg/kg)	.05	.45	.01	.73	.53	1398.7±34	.99*	3.51*	.3	5.2
Mg (mg/kg)	4776.02±27	4582.93±30	8314.11±81	8580.83±88	10241.17±6	10537.18±1	9781.05±59	9904.86±2	10744.59±1	10817.97±80.97
Mg (mg/kg)	.16	.03	.34	.78	5.71	00.23	8.18	2.94	21.25	

Tabla 7. Concentración de elementos esenciales en suelos de plantas de ornato de Xochimilco a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en ambas profundidades de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas entre ambas profundidades según una prueba t de Student.

	Alhelí		Flor violeta	
	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm
Cu (mg/kg)	26.7±1.83	21.18±0.06	14.59±0.22	14.77±1.42
Fe (mg/kg)	9557.96±68.36	9279.76±58.75	6954.53±60.39*	7330.73±73.88*
Ca (mg/kg)	18106.46±81.41	18209.13±223.43	16545.67±329.66	17015.57±225.03
K (mg/kg)	1816.07±12.44	1856.64±15.89	700.08±5.96	695.63±4.62
Mn (mg/kg)	193.89±2.5	185.48±3	97.58±1.31	99.44±2.58
Na (mg/kg)	3314.78±28.89*	3665.5±15.9*	3659.41±30.71*	3961.12±26*
P (mg/kg)	1529.1±25.59	1423.85±18.55	866.57±11.52	836.73±8.46
Mg (mg/kg)	12104.12±119.04	12652.42±33.39	11793.64±151.77	12702.6±94.93

Tabla 8. Concentración de elementos esenciales en suelos de plantas silvestres de Xochimilco a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en ambas profundidades de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas entre ambas profundidades según una prueba t de Student.

	Amaranto-quelite		Poaceae		Solanaceae		Asteraceae	
	0-20	20-30	0-20	20-30	0-20	20-30	0-20	20-30
Cu (mg/kg)	20.17±0.22*	17.99±0.01*	26.86±1.6	8	35.62±0.64	36.01±1.28	24.65±2.53	22.32±0.8
Fe (mg/kg)	7741.25±214.89	7596.3±59.99	17207.58±422.84*	17174.82±382*	21650.7±261	18650.32±686.78	18608.33±97.37	17174.82±382
Ca (mg/kg)	8±491.5	16041.4±89.77	14360.13±198.93	12188.45±462.64	12301±427.26	13775.96±725.62	10699.08±414.44	12188.45±462.64
K (mg/kg)	1142.61±22.95*	997.06±9.14*	2110.23±60.46	1929.1±26.95	1855.36±35.32*	1508.47±25.56*	2127.49±16.29*	1929.1±26.95*
Mn (mg/kg)	116.27±2.89	131.34±0.94	279.58±4.87	297.52±14.57	279.97±2.9	277.16±6.32	296.84±2.66	297.52±14.57
Na (mg/kg)	3752.51±99.93	3602.8±19.77	4658.12±68.75	2982.08±54.74	1517.28±35.84	1442.47±31.94	3392.97±19.67*	2982.08±54.74*
P (mg/kg)	1050.84±22.3	1115.12±15.2	796.26±13.91	672.61±11.58	797.47±12.03	725.03±25.36	730.12±7.19	672.61±11.58
Mg (mg/kg)	10744.5±121.2	10817.9±80.97	9582.94±243.4	7666.16±116.94	5355.74±132.23	5564.66±138.55	7911.24±96.62	7666.16±116.94

Elementos tóxicos en suelos

Las tablas 9, 10 y 11 plasman los resultados de los elementos potencialmente tóxicos en los suelos de las plantas comestibles, de ornato y silvestres, respectivamente, tales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), aluminio (Al), níquel (Ni) y zinc (Zn).

En la tabla 9 se aprecian niveles de Al muy elevados, que van de 8,223 a 13,964 mg/kg en el suelo rizosférico de todas las plantas comestibles en ambas profundidades. El Cd, por su parte, osciló solamente entre 1 y 1.5 mg/kg. Asimismo, entre las dos profundidades se observaron diferencias significativas en el contenido de diferentes elementos tales como el Cd en verdolaga y en romero; el contenido más alto fue de 0 a 20 cm. El Ni presentó diferencias significativas en romero y manzanilla pero con mayor concentración de 20 a 30 cm. Es importante mencionar que los contenidos más elevados de estos elementos potencialmente tóxicos en el suelo de las plantas de consumo se presentaron casi en su totalidad de 0 a 20 cm. En sólo unos cuantos casos este patrón no fue así; por ejemplo, en manzanilla y rábano el contenido más alto de Cd y Cr más bien fue de 20 a 30 cm.

En la tabla 10 se observan los contenidos en las plantas de ornato. El Al alcanzó el contenido más alto, entre 6,882 y 11,811 mg/kg; en tanto, el Cd no rebasó 1.3 mg/kg. La flor violeta presentó diferencias significativas en el contenido de Cd y Cr con los niveles más elevados a 20 a 30 cm. Se observaron diferencias significativas en Al en la planta alhelí, con contenidos mayores de 0 a 20 cm. Puede notarse que en la profundidad de 0 a 20 cm hubo contenidos más elevados en casi todo los casos, con excepción de Cr y Cd en la flor violeta, y de Ni en alhelí donde los máximos niveles fueron de 20 a 30 cm.

Por último, en la tabla 11 se plasman los resultados de los suelos de plantas silvestres. El Al fluctuó desde 7,742 hasta 28,824 mg/kg. Por su parte, el Cd alcanzó niveles de 0.95 a 2.43 mg/kg. Se apreciaron diferencias significativas en Cd en el caso de la *Poaceae* y *Solanaceae* con contenidos más altos de 0 a 20 cm. De la misma manera, el Cr mostró diferencias en la *Asteraceae* con una concentración superior de 0 a 20 cm. En el caso del Pb se aprecian diferencias en la *Solanaceae* y en el quelite, con niveles más altos de 20 a 30 cm de profundidad. El Al tuvo diferencias significativas en la *Solanaceae*, la *Asteraceae* y el amaranto-quelite con un nivel más alto de los 0 a 20 cm.

Al igual que en los elementos esenciales, los elementos tóxicos se encontraron con mayor abundancia en casi todas las plantas producidas. Sin embargo, la mayor abundancia de los mismos se reportó en los suelos de las plantas de ornato. Esto puede deberse a la mayor cantidad de elementos químicos usados en su producción ya que al no ser de consumo se puede enriquecer más el sistema edáfico con elementos potencialmente tóxicos. Con estos datos se podría asumir que los suelos se encuentran contaminados particularmente con Al. Cabe mencionar que estos elementos potencialmente tóxicos se encuentran en casi todos los suelos, y no es sino su cantidad lo que puede generar un problema serio por su eventual

translocación a las plantas. Con base en Kabata-Pendias (2011), estos elementos, salvo el Al, no representan un peligro y se encuentran dentro de los niveles aceptados para la producción vegetal. El Al presenta cifras elevadas que van de los 6,000 a los 20,000 mg/kg lo que, según Kabata-Pendias (2011) y la NOM-021-RECNAT-2000, puede deberse a la naturaleza del suelo altamente arcilloso. Asimismo, estos altos contenidos indicarían un pH ácido; Kabata-Pendias (2011) menciona que cantidades mayores a los 1,000 mg/kg de Al están directamente vinculadas con un pH 5. Haciendo un análisis detallado y comparativo de las tablas de contenidos tóxicos en suelos y en las plantas, específicamente de Al, se puede apreciar que su contenido en tejidos aéreos como en raíces es mínimo en comparación con el suelo, lo que demuestra que las plantas no están asimilando el Al presente. Por tanto, el Al no representa un peligro a la hora de consumir los productos vegetales de estos suelos. También, estos altos contenidos en el suelo pueden representar una limitante en el crecimiento y correcto desarrollo de las plantas, e incidir en la eficiencia de producción agrícola. De esta manera y tomando como referencia la comparativa que hace la autora de diferentes suelos agrícolas en el mundo, los niveles de los elementos potencialmente tóxicos es relativamente baja en comparación con Francia, Alemania y Suiza, y semejantes con República Checa. Según la NOM-021-RECNAT-2000, los elementos Al, Ni y Zn son elevados pero no rebasan los niveles permitidos y el suelo se puede clasificar como apto para la producción. El As y Cd presentan niveles normales sin problema para el contacto y producción humana.

Tabla 9. Concentración de elementos tóxicos en suelos de plantas comestibles de Xochimilco a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en ambas profundidades de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas entre ambas profundidades según una prueba t de Student.

	Verdolaga		Romero		Manzanilla		Rábano	
	0-20	20-30	0-20	20-30	0-20	20-30	0-20	20-30
As (mg/kg)	6.18±0.22	4.98±0.52	8.88±0.97	7.82±0.21	8.04±0.43	8.29±0.66	8.4±0.21	8.41±0.27
Cd (mg/kg)	1.53±0.01*	1.44±0.01*	1.25±0.01*	1.18±0.02*	1.13±0.03	1.18±0.04	1.03±0.11	1.08±0.02
Cr (mg/kg)	24.94±0.34	24.49±0.15	22±0.16	21.39±0.52	18.8±0.13	19.99±0.27	17.94±1.19	19.23±0.11
Pb (mg/kg)	16.88±0.14	18.11±0.35	23.97±0.11	27.72±1.51	24.24±0.55	24.84±0.49	20.36±2	20.34±0.19
Al (mg/kg)	13964.18±178.11	12996.13±223.91	11404.96±53.31	10284.26±260.81	9521.07±158.38	9717.57±108.7	8222.67±539.91	8928.25±57.57
Ni (mg/kg)	20.58±0.51	21.52±0.03	18.85±0.12*	20.66±0.16*	18.28±0.19*	20.11±0.44*	19.09±0.5	19.28±0.09
Zn (mg/kg)	95.07±1.36	94.08±2.37	66.34±0.89	65.58±1.59	62.72±0.71	62.13±0.37	59.26±2.87	60.65±1.42

Tabla 10. Concentración de elementos tóxicos en suelos de plantas de ornato de Xochimilco a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en ambas profundidades de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas entre ambas profundidades según una prueba t de Student.

	Alhelí		Flor violeta	
	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm
As (mg/kg)	8.99±0.19	8.53±0.39	9.46±0.15	9.41±0.25
Cd (mg/kg)	1.3±0.02	1.18±0	0.82±0.01*	0.87±0*
Cr (mg/kg)	22.06±0.22	21.59±0.06	19.12±0.04*	20.1±0.11*
Pb (mg/kg)	25.03±0.28	23.68±0.28	11.7±0.28	11.44±0.21
Al (mg/kg)	11811.24±192.93*	10363.6±52.12*	6881.57±59.02	7311.48±134.94
Ni (mg/kg)	19.61±0.17	20.07±0.12	18.41±0.43	18.36±0.2
Zn (mg/kg)	62.95±2	58.35±0.88	31.91±0.31	30.94±0.6

Tabla 11. Concentración de elementos tóxicos en suelos de plantas silvestres de Xochimilco a dos profundidades, de 0 a 20 cm y de 20 a 30 cm (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en ambas profundidades de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas entre ambas profundidades según una prueba t de Student.

Plantas	Poaceae		Solanaceae		Asteraceae		Amaranto-quelite	
	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm	0-20 cm	20-30 cm
As (mg/kg)	4.91±0.4	3.54±0.29	4.6±0.45	4.47±0.31	3.6±0.07	3.54±0.29	9.87±0.25	8.79±0.15
Cd (mg/kg)	2	1.75±0.03*	2.43±0.04	2.1±0.01*	1.97±0.04	1.75±0.03	1±0.02	0.95±0.01
Cr (mg/kg)	23.3±1.7	21.22±0.27	35.95±0.9	32.29±1.6	23.78±0.2	21.22±0.2	19.34±0.0	19.63±0.0
Pb (mg/kg)	6	0.27	5	7	1*	7*	8	7
	28.71±2.	26.68±1.12	44.71±1.2	49.53±2.0		26.68±1.1	13.7±0.07	14.85±0.0
	34	7741.9	4*	8*	27.5±2.14	2	*	3*
Al (mg/kg)	8405.48±244.49	8±128.94	20269.44±790.43*	18601.12±726.29*	28824.49±743.43*	18330.93±1041.65*	22714.78±152.05*	18601.12±726.29*
Ni (mg/kg)	18.97±0.	18.78±0.11	22.81±0.3	22.49±0.3	28.36±0.5	25.93±0.8	23.32±0.4	22.49±0.3
Zn (mg/kg)	31	0.16	6	3	1	9	4	3
	45.35±4.	44.95±0.16	78.44±0.7	73.83±1.3	120.03±2.	115.77±1.	80.83±1.4	73.83±1.3
	6		1	1	11	53	3	1

Elementos esenciales en tejidos aéreos y en raíces

De las plantas en que fue analizado el suelo, se analizó también el contenido de elementos en los tejidos aéreos, TA (hojas, tallos, flores, frutos), y en las raíces. Las tablas 12, 13 y 14 expresan los resultados de los elementos esenciales antes enlistados.

En la tabla 12 se aprecian diferencias significativas en el contenido de Cu en manzanilla, lechuga y rábano; en las primeras dos el mayor contenido fue en la raíz, mientras que en el rábano fue en los TA. El Fe presentó diferencias con niveles mayores en los TA de la verdolaga; en tanto, las raíces de la manzanilla y la lechuga acumularon concentraciones significativas notoriamente más elevadas que los TA. El K mostró diferencias en el romero y la manzanilla, ambos con cantidades superiores en los TA. El Na sólo presentó diferencias significativas en la manzanilla, donde destacaron los TA con mayores niveles. Por último, el P tuvo diferencias en su contenido en la manzanilla, el rábano y lechuga donde casi siempre las raíces acumularon más.

En cuanto a los elementos esenciales en TA y raíces de las plantas de ornato (Tabla 13), el Cu, Fe y Na mostraron diferencias significativas en alhelí y flor violeta. El Cu mostró contenidos mayores en los TA de alhelí, y en las raíces de flor violeta. En relación al Fe destacaron los TA en alhelí y las raíces en flor violeta. En cuando al Na, en ambas plantas los TA acumularon niveles más altos. Finalmente, los contenidos de Ca y P reportaron diferencias significativas en la flor violeta, con la concentración más alta en los TA.

Por último, en cuanto a los elementos esenciales en las plantas silvestres (Tabla 14), hubo diferencias significativas en Cu en la *Asteraceae* y en amaranto, con los TA con una mayor concentración. El Fe presentó diferencias en la *Solanaceae*, la *Asteraceae* y el amaranto con los contenidos más elevados en los TA. El Ca en la *Poaceae* y la *Asteraceae* presentaron diferencias, con los contenidos más altos en las raíces y en los TA, respectivamente. El Mn mostró diferencias entre las raíces y TA en la *Solanaceae* con mayores niveles en los TA. El Na mostró diferencias en la *Poaceae*, *Solanaceae* y *Asteraceae*; en la primera, fueron las raíces donde se encuentran los mayores niveles, en *Solanaceae* fue en los TA, mientras que la *Asteraceae* acumuló más del doble del contenido en TA que en raíces. El P sólo mostró diferencias en la *Poaceae* con las raíces con un contenido mayor. El Mg tuvo diferencias en la *Poaceae* donde las raíces acumularon mayor cantidad del elemento.

De acuerdo con los datos anteriores, los contenidos de estos elementos presentaron niveles mayores en las plantas comestibles, lo que concuerda con las propiedades comestibles de las mismas, en comparación con las plantas de ornato y silvestres. El Fe presentó una mayor variabilidad entre los contenidos en TA y raíces, donde la verdolaga y el rábano mostraron mayor abundancia en TA, mientras que en romero y manzanilla fue en las raíces.

Según Kabata-Pendias (2011), el Cu, Mn y Mg podrían llegar a niveles potencialmente tóxicos, observación que no se apreció en el presente estudio. Por el contrario, estos elementos se encuentran en niveles que contribuyen de una manera positiva con el consumo. Asimismo, las cantidades de Cu y Fe son consistentes con lo reportado por esta autora en un ecosistema boscoso, donde las plantas de consumo reportaron los niveles más altos de los mismos.

Tabla 12. Concentración de elementos esenciales en tejidos aéreos (TA) y raíces de plantas comestibles de Xochimilco (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en TA y raíces de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas según una prueba t de Student

	verdolaga		Romero		Manzanilla		Tejido Aéreo
	Tejido Áereo	Raíces	Tejido Áereo	Raíces	Tejido Áereo	Raíces	
Cu (mg/kg)	19.99+1.48	24.04+1.16	8.81+0.39	11.77+0.23	6.64+0.97*	7.77+0.1*	5.05+0.1
Fe (mg/kg)	80.36+11.12*	79.96+10.26*	67.2+13.55	154.05+14.19	71.5+0.71*	253.45+71.06*	65.08+0.1
Ca (mg/kg)	10354.97+1201.13	3616.38+471.29	10784.78+268.48	4353.89+105.21	6276.7+629.63	2952.21+190.81	18971.89
K (mg/kg)	109649.95+6814.85	50050.32+2835.96	23012.09+1059.18*	20168.91+209.47*	57204.14+6445.08*	39455.83+2121.85*	31660.23+0.1
Mn (mg/kg)	25.3+8*	12.98+2.79*	20.77+5.13*	9.96+2.12*	60.56+5.61	18.73+2.05	67.04+0.1
Na (mg/kg)	16970.33+443.28	11112.59+1265.31	72824.55+3094.25	28138.65+379.84	21445.3+717.75*	15250.71+1880.62*	28349.85
P (mg/kg)	8715.56+1159.91	4350.2+274.29	4065.64+112.6	3170.08+28.73	3875.03+103.26*	4331.24+114.21*	5459.67
Mg (mg/Kg)	18589.64+1535.99	7304.45+416.65	14075.57+258.79	4223.46+26.61	4710.07+279.79	2508.23+149.5	13003.98

Tabla 13. Concentración de elementos esenciales en tejidos aéreos (TA) y raíces de plantas de ornato de Xochimilco (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en TA y raíces de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas según una prueba t de Student.

	Alhelí		Flor violeta	
	TA	Raíces	TA	Raíces
	Cu (mg/kg)	4.64+0.32*	4.3+0.89*	3.51+0.37*
Fe (mg/kg)	43.2+2.28*	28.26+7.41*	69.21+12.09*	146.25+24.55*
Ca (mg/kg)	11141.08+917.2	2379.81+426.57	3750.81+390.1*	2288.98+58.77*
K (mg/kg)	20414.68+1069.99	16554.17+384.35	26170.4+4620.64	11957.93+1624.73
Mn (mg/kg)	30.06+5.64	4.19+2.57	10.76+1.16	3.93+0.69
Na (mg/kg)	20463.25+5583.34*	3192.46+647.95*	12098.9+2897.35*	10664.83+1807.95*
P (mg/kg)	2994.27+117.99	2173.14+108.61	2715.68+915.16*	2060.55+197.4*
Mg (mg/kg)	4471.1+235.06	1433.56+529.27	6587.85+347.36	2122.04+72.29

Tabla 14. Concentración de elementos esenciales en tejidos aéreos (TA) y raíces de plantas silvestres de Xochimilco (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en TA y raíces de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas según una prueba t de Student.

	Poaceae		Solanaceae		Asteraceae		Amaranto	
	TA	Raíces	TA	Raíces	TA	Raíces	TA	Raíces
Cu (mg/kg)	8.71+0.75	30.44+1.95	26.08+3.27	14.94+1.77	16.2+1.06*	10.87+0.42*	10.09+1.12*	8.85+1.36*
Fe (mg/kg)	96.74+10.06	437.44+58.2	131.69+3.21*	93.99+28.75*	58.38+3.74*	43.69+6.02*	73+4.4*	48.52+3.76*
Ca (mg/kg)	2175.99+189.15*	2909.95+339.7*	12958.34+748.73	8903.7+1363.45	8996.97+416.06*	2525.16+216.28*	8139.88+219.47	2397.18+368.06
K (mg/kg)	14019.87+1299.98	5976.8+769.28	42265.27+6258.32	19934.17+3560.22	22142.4+1132.41	10709.45+1591.37	68126.14+2123.31	23153.89+497.7
Mn (mg/kg)	17.4+1.55	45.03+0.96	11.5+4.15*	2.83+1.32*	11.65+1.43	1.99+0.44	17.21+0.08	3.03+0.13
Na (mg/kg)	1379.53+20.82*	2480.14+505.42*	3672.23+962.48*	3092.95+147.59*	19847.03+3003.36*	8177.15+333.76*	21870.56+932.85	3918.47+161.7
P (mg/kg)	1874.2+185.15*	2228.19+130.53*	4992.7+393.28	2216.54+306.31	3975.24+566.45	2053.43+149.27	4635.12+65.23	2337.25+61.91
Mg (mg/kg)	1600.26+65.82*	1994.68+312.58*	4877.11+298	1806.06+169.97	4617.17+339.36	1516.92+175.42	15072.61+358.83	3989.28+69.11

Elementos tóxicos en tejidos aéreos y raíces de plantas

En las tablas 15, 16 y 17 se presentan los resultados de la acumulación de los elementos potencialmente tóxicos en los TA y raíces de las plantas comestibles, de ornato y silvestres del Lago de Xochimilco.

Los contenidos de elementos tóxicos en las plantas de consumo (Tabla 15) reportaron diferencias significativas entre raíces y TA en casi todos los elementos. El As presentó diferencias en la manzanilla; las raíces acumularon una cantidad mayor. El Cd, aunque nunca superó 0.52 mg/kg, presentó diferencias en romero, manzanilla y rábano; en el romero hubo mayor concentración en los TA, así como en las raíces de la manzanilla y en los TA del rábano. El Cr presentó diferencias en las verdolagas, la manzanilla y la lechuga, con la mayor concentración en las raíces. En relación al Pb, las raíces de la manzanilla y de la lechuga presentaron los mayores contenidos. El Al presentó diferencias significativas con niveles más altos en las raíces de verdolaga, así como en los TA del rábano y lechuga. El Ni presentó diferencias en todas las plantas; las concentraciones más altas en verdolagas y en rábano fueron en TA, y en romero, manzanilla y lechuga en las raíces. Por último, el Zn también tuvo diferencias en todos los casos, donde los TA acumularon mayores niveles, con excepción de la lechuga que presentó niveles más altos en las raíces.

En el caso de las plantas de ornato (Tabla 16) se identificaron diferencias significativas de Cd en alhelí con los contenidos más altos en raíces. Por su parte, el Cr y el Pb presentaron diferencias en la flor violeta, con un mayor nivel en las raíces. En cuanto al Al hubo diferencias en las dos plantas donde las raíces acumularon mayores contenidos. Por último, el Ni también presentó diferencias en ambas plantas, pero en alhelí los TA acumularon la mayor concentración, y en flor violeta fue en las raíces.

En las plantas silvestres (Tabla 17) se apreciaron diferencias significativas en Cd en las plantas *Asteraceae* y amaranto, donde las raíces acumularon mayor contenido. El Cr presentó diferencias en todas las plantas, donde la *Poaceae* y la *Asteraceae* acumularon más en las raíces, y la *Solanaceae* y el amaranto en los TA. El Pb presentó diferencias sólo en la *Poaceae* y fueron las raíces que acumularon un mayor contenido. El Al presentó diferencias en todos los casos, pero en la *Poaceae*, la *Asteraceae* y el amaranto se apreciaron los contenidos más altos en raíces, mientras que en la *Solanaceae* fue en los TA. Cabe resaltar que en la *Poaceae* y el amaranto las diferencias fueron considerables. El Ni presentó diferencias en la *Asteraceae*, *Solanaceae* y el amaranto, donde la primera acumuló más en los TA y las otras dos plantas en las raíces. Por último, el Zn presentó diferencias en la *Asteraceae* con los TA con mayor concentración.

Los contenidos de los elementos en los tejidos vegetales (TA y raíces) son menores que en los suelos de las mismas plantas. Esto sugiere que las plantas evitan absorber dichos elementos que podrían ser dañinos para su crecimiento. Es de notar que en casi todos los casos las cantidades más altas de los elementos se apreciaron en las raíces, las que los retienen para evitar su traslocación a los tejidos aéreos. También, se debe resaltar que el Al fue

el elemento que se acumuló en mayores concentraciones siempre en las raíces, lo que indica un patrón de retención en esos tejidos. Asimismo, la manzanilla fue la que presentó los contenidos más bajos en los TA en comparación con las raíces que por lo regular acumularon cantidades mucho más elevadas, lo que demuestra la capacidad de esta planta para absorber elementos tóxicos y almacenarlos en sus raíces. Kabata-Pendias (2011) afirma que es normal observar contenidos de elementos tóxicos en el suelo como en el tejido vegetal de las plantas, que los contenidos bajos que se presentan en el actual estudio no llegan a presentar un riesgo para la salud al contacto físico o al consumirlas. Sólo en Al los contenidos llegan a ser altos en algunos caso pero no dañinos. Aludiendo a la información de la misma autora, se reafirma lo que reporta ya que los contenidos más altos de Al se apreciaron en las raíces de las plantas, mientras que el Zn se presentó con mayor abundancia en los TA.

Tabla 15. Concentración de elementos tóxicos en tejidos aéreos (TA) y raíces de plantas de comestibles de Xochimilco (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en TA y raíces de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas según una prueba t de Student

	Verdolaga		Romero		Manzanilla		Rábano		Lechuga	
	Tejido Áereo	Raíces	Tejido Áereo	Raíces	Tejido Áereo	Raíces	Tejido Áereo	Raíces	Tejido Áereo	Raíces
As (mg/K g)	0.26+0	0.26+0	0.26+0	2.19+0. 2	0.26+0 *	9.16+2. 12*	0.26+0	1.23+0 .05	0.26+0	0.26+0
Cd (mg/K g)	0.13+0	0.52+0. 05	0.16+0. 02*	0.13+0*	0.16+0. 01*	0.23+0. 01*	0.15+0 *	0.13+0 *	0.3+0.0 2	0.34+0. 02
Cr (mg/K g)	0.01+0*	0.05+0. 03*	0.01+0	0.23+0. 04	0.01+0 *	0.45+0. 18*	0.01+0	0.01+0	0.01+0*	0.41+0. 17*
Pb (mg/K g)	0.36+0	0.36+0	0.36+0	0.36+0	0.36+0 *	0.59+0. 22*	0.36+0	0.36+0	0.36+0*	0.66+0. 29*
Al (mg/K g)	10.8+1. 86*	60.05+ 10.85*	30.73+ 10.45	165.77+ 16.12	15.24+ 2.77	276.88+ 88.66	20.42+ 3.31*	16.2+4 .65*	33.26+ 9.12*	212.36+ 56.13*
Ni (mg/K g)	1.59+0. 22*	1.35+0. 18*	1.23+0. 06*	1.28+0. 1*	3.03+0. 29*	5.3+1.3 3*	0.43+0. 03*	0.4+0*	1.01+0. 09*	1.34+0. 17*
Zn (mg/K g)	120.03 +4.89*	86.83+ 7.6*	62.42+ 4.87*	45.42+0 .74*	79.54+ 4.17*	57.99+5 .89*	39.91+ 1.68*	39.15+ 2.49*	116.27 +4.06*	127.47+ 10.72*

Tabla 16. Concentración de elementos tóxicos en tejidos aéreos (TA) y raíces de plantas de ornato de Xochimilco (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en TA y raíces de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas según una prueba t de Student

	Alhelí		Flor violeta	
	TA	Raíces	TA	Raíces
As (mg/kg)	0.26+0	0.26+0	0.26+0	3.36+0.45
Cd (mg/kg)	0.15+0*	0.2+0.03*	0.13+0	0.13+0
Cr (mg/kg)	0.01+0	0.01+0	0.01+0*	0.63+0.25*
Pb (mg/kg)	0.36+0	0.36+0	0.36+0*	0.46+0.07*
Al (mg/kg)	16.44+0.6*	20.33+4.7*	42.12+13.87*	142.18+10.62*
Ni (mg/kg)	0.94+0.18*	0.41+0.2*	1.4+0.23*	2.18+0.55*
Zn (mg/kg)	21.86+1.78	10.87+2.19	27.6+3.2	22.27+3.57

Tabla 17. Concentración de elementos esenciales en tejidos aéreos (TA) y raíces de plantas silvestres de Xochimilco (promedios±ES; n=3). El asterisco (*) en TA y raíces de la misma planta indica los elementos que presentaron diferencias significativas según una prueba t de Student.

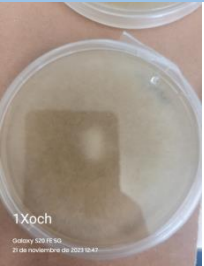
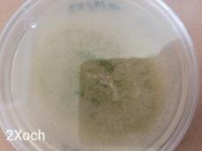


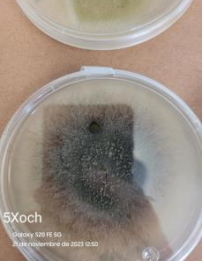
	Poaceae		Solanaceae		Asteraceae		Amaranto	
	TA	Raíces	TA	Raíces	TA	Raíces	TA	Raíces
As (mg/kg)	0.26+0	0.26+0	0.26+0	0.26+0	0.26+0	0.26+0	0.26+0	5.74+0.64
Cd (mg/kg)	0.13+0	0.32+0.04	0.29+0.01	0.47+0.02	0.13+0*	0.15+0.02*	0.13+0*	0.21+0.02*
Cr (mg/kg)	0.32+0.08*	1.57+0.66*	0.75+0.11*	0.73+0.22*	0.01+0*	0.1+0.08*	0.12+0.1*	0.07+0.02*
Pb (mg/kg)	0.36+0*	0.69+0.14*	0.36+0	0.36+0	0.36+0	0.36+0	0.36+0	0.36+0
Al (mg/kg)	88.85+14.58*	540.62+82.75*	164.72+8.97*	130.35+4.38*	60.81+8.61*	68.93+5.91*	6.96+0.32*	49.35+3.46*
Ni (mg/kg)	0.35+0.12	4.47+0.46	0.79+0.16*	1.24+0.57*	1.01+0.07*	0.83+0.25*	0.71+0.1*	0.92+0.12*
Zn (mg/kg)	38.32+1.95	119.4+22.39	89.73+4.55	57.36+5.38	33.41+1.2*	26.99+3.5*	54.59+2.03	26.14+2.34






Hongos microscópicos procedentes de la rizosfera de la planta *Picris echioides*



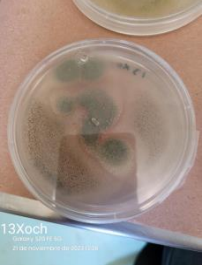


A partir de la rizosfera de la planta silvestre *P. echioides* se obtuvieron 15 colonias de hongos filamentosos. En la tabla 18 se muestran sus características, que van desde la coloración del anverso y reverso, el aspecto (algodonoso o polvoso) y el crecimiento de la colonia (plano o umbonado). Las colonias 7XOCH y 10XOCH fueron planas, otras presentaron elevación moderada (1XOCH, 2XOCH, 3XOCH, 6XOCH, 8XOCH, 9XOCH, 11XOCH y 12XOCH), mientras que el resto exhibió una elevación más pronunciada (4XOCH, 5XOCH, 13XOCH, 14XOCH y 15 XOCH). Asimismo, se apreció la liberación de pigmentos alrededor de algunas colonias: la colonia 4XOCH una coloración amarilla, la 8XOCH una coloración rojiza, las colonias 6XOCH y 10XOCH presentaron anillos oscuros, y la colonia 7XOCH exhibió un centro naranja.

Pacasa-Qisbert (2017) hizo un estudio en suelos agrícolas de Bolivia con cuatro categorías (con cultivo, suelos disponibles pero no cultivados, suelos naturales sin cobertura y suelos naturales con cobertura). Éste último fue el más semejante al suelo de donde se extrajeron las muestras del presente estudio, en que la mayor abundancia de hongos estuvo presente en las capas superficiales, donde el microclima, ambiente y disponibilidad de nutrimentos fueron favorables para su desarrollo y crecimiento. Asimismo, la capa más superficial del suelo no se ha compactado por causas agrícolas. En el trabajo referido, los suelos naturales con cobertura fueron los que presentaron una mayor diversidad fúngica, con un total de diez especies de hongos en este tipo de suelo, contrastando con los suelos agrícolas compactos donde sólo se reportaron siete especies. Lo anterior concuerda con los datos del presente estudio en que se aislaron 15 colonias diferentes, morfológicamente hablando, a partir de suelo natural con cobertura vegetal.

Tabla 18. Hongos aislados del suelo rizosférico de la planta *Picris echioides*.

Clave	Descripción morfológica	Imagen
1XOCH	Color anverso: Gris (opaco) Color reverso: Claro (blanco) Aspecto: Algodonoso Crecimiento: Elevado	
2XOCH	Color anverso: Degradado de verde a blanco Color reverso: Claro (blanco) Aspecto: Algodonoso Crecimiento: Elevado	
3XOCH	Color anverso: Degradado de verde a blanco Color reverso: Claro (blanco) Aspecto: Algodonoso Crecimiento: Elevado	
4XOCH	Color anverso: Blanco, centro rosado Color reverso: Blanco Aspecto: Polvoso, aterciopelado Producción de halo amarillo Crecimiento: Sobresaliente	
5XOCH	Aspecto anverso: Oscuro, con los extremos blancos Color reverso: Oscuro Aspecto: Algodonoso Crecimiento: Sobresaliente	

Clave	Descripción morfológica	Imagen
6XOCH	<p>Color anverso: Claro con marrón y centro verde</p> <p>Color reverso: Claro con marrón</p> <p>Aspecto: Algodonoso, polvoso</p> <p>Producción de anillos en su superficie</p> <p>Crecimiento: Elevado</p>	
7XOCH	<p>Color anverso: Centro rojizo, costados verdes</p> <p>Color reverso: Centro rojizo, claro a los costados</p> <p>Aspecto: Polvoso</p> <p>Crecimiento: Sin crecimiento</p>	
8XOCH	<p>Color anverso: Blanco</p> <p>Color reverso: Rojo</p> <p>Aspecto: Algodonoso</p> <p>Producción de coloración rojiza intensa</p> <p>Crecimiento: Elevado</p>	
9XOCH	<p>Color anverso: Blanco</p> <p>Color reverso: Blanco</p> <p>Aspecto: Aterciopelado</p> <p>Crecimiento: Elevado</p>	
10XOCH	<p>Color anverso: Blanco</p> <p>Color reverso: Blanco</p> <p>Aspecto: Aterciopelado</p> <p>Producción de anillos en la superficie</p> <p>Crecimiento: Sin crecimiento</p>	

Clave	Descripción morfológica	Imagen
11XOCH	<p>Color anverso: Verde y blanco</p> <p>Color reverso: Claro</p> <p>Aspecto: Polvoso, algodonoso</p> <p>Crecimiento: Elevación</p>	
12XOCH	<p>Color anverso: Moteado oscuro</p> <p>Color reverso: Claro</p> <p>Aspecto: Algodonoso</p> <p>Crecimiento: Elevado</p>	
13XOCH	<p>Color anverso: Verde y contornos blancos</p> <p>Color reverso: Claro</p> <p>Aspecto: Polvoso, algodonoso</p> <p>Producción de coloración rojiza</p> <p>Crecimiento: Elevado en el centro</p>	
14XOCH	<p>Color anverso: Verde opaco, bordes blancos</p> <p>Color reverso: Claro</p> <p>Aspecto: Polvoso</p> <p>Crecimiento: Elevación en el centro</p>	
15XOCH	<p>Color anverso: Claro con centro rojizo</p> <p>Color reverso: Claro con centro rojizo</p> <p>Aspecto: Aterciopelado</p> <p>Producción de anillos en su superficie</p> <p>Crecimiento: Elevación en el centro</p>	

Conclusiones

- a) Los suelos de las chinampas del Lago de Xochimilco contienen elementos potencialmente tóxicos (Cd, Pb, As, Al). Particularmente y en general las concentraciones de los elementos son más elevadas en el estrato del suelo de 0-20 cm que en el estrato 20-30 cm.
- b) Con la probable excepción del Al, el contenido de elementos potencialmente tóxicos se encuentra en niveles sin riesgo y aptos para la producción agrícola y el consumo humano en el caso de las plantas comestibles.
- c) Las plantas comestibles, de ornato y silvestres acumulan en sus raíces y en sus tejidos aéreos concentraciones diferenciales de elementos potencialmente tóxicos, dentro de los niveles reportados para las plantas creciendo en sitios no contaminados en el mundo.
- d) El Al alcanzó los niveles más altos en los suelos del Lago de Xochimilco en comparación con los demás elementos analizados. Estudios minuciosos permitirán evaluar el impacto de este elemento.
- e) Una planta silvestre de las chinampas del Lago de Xochimilco resguarda una diversidad de hongos microscópicos en la rizosfera. Estos hongos, al desarrollarse en sustratos convencionales de laboratorio demuestran su capacidad como degradadores de materia orgánica.
- f) Las plantas del Lago de Xochimilco pueden constituir un reservorio de elementos potencialmente tóxicos, particularmente de Al.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azcón-Aguilar, C., Jaizme-Vega, C., Alver, C. (2002). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to the control of soil-borne plants pathogens. *Mycorrhizal Technology in Agriculture*. Birhäuser Verlan; 189-197.

Cabaniss, S. E. (2009). Forward modeling of metal complexation by NOM: I. A priori prediction of conditional constants and speciation. *Environmental Science and Technology* (43); 2838-2844.

Camargo-Ricalde, S., Montaña, N., De La Rosa-Mera, C., Montaña A. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria* 7 (20); 3-10.

Cisneros, G., Rothen, C., Lo, T., Godeas, A., Rodríguez, M. (2010). Aislamiento y selección de hongos endófitos septados oscuros degradadores de agroquímicos como potenciales herramientas en la biorremediación de suelos. CONICET. 3er Congreso de la Sociedad de Química y Toxicología Ambiental, 2010, Santa Fe. Argentina; 2-9.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2010). Manual para el manejo de zonas de riego con aguas residuales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. México.

Elizondo, C., Márquez-Linares, M.A., Marín-García, M.L., Gutiérrez-Yurrita, P.J. (2016). Flora que crece naturalmente en presas de jale minero abandonadas susceptibles de ser utilizadas en reclamación, Zimapán, Hidalgo, México. *Interciencia* 41 (47); 492-1298.

Elkins, K.M., Nelson, D.J. (2001). Fluorescence and FT-IR spectroscopic studies of Suwanne river fulvic acid complexation with aluminum, terbium and calcium. *Journal of Inorganic Biochemistry* (87); 81-96.

Feng, N.X., Yu, J., Zhao, H.M., Cheng, Y.T., Mo, C.H., Cai, Q.Y., Li, Y.W., Li, H., Wong, M.H. (2017). Efficient phytoremediation of organic contaminants in soils using plant endophyte partnerships. *Science of the Total Environment* (583); 352-368.

Heredia, G., Ulloa, M., Sosa, V. (1988). Comparative study of fungal communities of soil and rhizosphere of spinach plants cultivated in chinampas. *Revista Latinoamericana de Microbiología* (30); 155-162.

Huancaré, R. (2014). Identificación histopatológica de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en branquias, hígado y músculo de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo en etapa comercial de la Laguna de Mamacocha, área de influencia minera, Cajamarca-Perú. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Jiménez, M. (2013). Resiliencia y adaptabilidad del sistema chinampero de Xochimilco. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Juárez-Figueroa, L. A., Silvia-Sánchez, J., Uribe-Salas, F.J., Cifuentes-García, E. (2003). Microbiological indicators of water quality in the Xochimilco canals, Mexico City. *Salud Pública de México* (45); 389-395.

Jumpponen, A. (2001). Dark septate endophytes-are they mycorrhizal? *Mycorrhiza* (11); 207-211.

Kabata-Pendias, Alina. (2011). Trace elements in soils and plant. CRC Press Taylor & Francis Group. (4); 37-89.

Quiñones Amézquita, C. (2005). Chinampas y chinamperos: los horticultores de San Juan Tezompa. Universidad Iberoamericana, Departamento de Antropología Social, (4); 91.

Lugo, M., Giordano, P., Urcelay, C., Crespo, E. (2011). Colonización radical por endófitos fúngicos en *Trithrinax campestris* (Arecaceae) de ecosistemas semiáridos del centro de Argentina. *Revista de la Sociedad Argentina de Botánica* 46 (3-4); 213-222.

Mendez, O.M., Maier, R.M. (2008). Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* (7); 47-59.

Mendoza Correa, X. (2018). Las chinampas del humedal de Xochimilco: sistemas de biorremediación para la sostenibilidad. El colegio de la Frontera Norte, Centro de Educación Científica y de Educación Superior de Ensenada, (1); 1-14.

Mulkeen, C. J., Gibson-Brabazon, S., Carlin, C., Williams, C. D., Healy, M. G., Mackey, P., Gormally, M. J. (2017). Habitat suitability assessment of constructed wetlands for the smooth newt (*Lissotriton vulgaris* [Linnaeus, 1758]): a comparison with natural wetlands. *Ecological Engineering* (106); 532-540.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Fecha de publicación: 31 de diciembre 2002.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Fecha de publicación: 2 de marzo 2007.

Prashar, P., Kapoor, N., Sachdeva, S. (2014). Rhizosphere: its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* (13); 63-77.

Philippot, L., Raaijmakers, J.M., Lemanceau, P., van der Putten, W.H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology* (11); 789-799.

Ramos-Bello, R., Cajuste, L., Flores-Román, D., García-Calderón, N. (2001). Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia* (35); 385-395.

Sanders, W. (1957). *El lago y el volcán: la chinampa. En La agricultura chinampera*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.

Salvarredi, L., Crespo, E., Menoyo, E., Filippa, E., Barboza, G., Lugo, M. (2010). Micorrizas arbusculares y endófitos septados oscuros en Gentianaceae nativas de la Argentina. *Revista de la Sociedad Argentina de Botánica* 45 (3-4); 223-229.

Sarabia, M., Madrigal, R., Martínez, M., Carreón, Y. (2010). Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones. *Biológicas* 12(1); 65-71.

Shuman M. S., Cromer J. L. (1979). Copper association with aquatic fulvic and humic acids. Estimation of conditional formation constants with a trimeric anodic stripping. *Environmental Science & Technology* (13); 543-545.