



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

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

**INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON LA PROFESIÓN**

**“Respuestas de las interacciones entre los suelos del Valle del
Mezquital y los lodos EDAR usados como potencializadores de
nutrientes para uso agrícola”**

Que Presenta el Alumno
Galindo Carpio Manuel Alejandro
2142035034

Asesoras

Dra. Patricia Castilla Hernández (No. Eco. 30606)
Departamento El Hombre y su Ambiente, UAM-X

Vo.Bo. Patricia Castilla

Dra. Lucy Mora Palomino (No. Eco.832306)
Laboratorio de Edafología Experimental, Instituto de Geología, UNAM

Vo.Bo. Lucy Mora

México, Ciudad de México a, miércoles 12 de febrero del 2025

Índice

Resumen	4
Introducción	5
Lugar donde se realizó el servicio social	7
Marco institucional	8
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivo del programa	10
Objetivos específicos	10
Descripción específica de las actividades desarrolladas.....	11
Experimento 1: Evaluación del efecto de uso de lodos residuales como mejorador de suelo:	11
A) Acondicionamiento de macetas para cultivos de prueba.	11
B) Germinación de cultivos.	11
C) Colecta de lodos EDAR.	12
D) Preparación de suelo.	12
G) Cosecha.....	12
H) Muestreo de suelo.....	12
Experimento 2: Evaluación de la actividad biológica en el crecimiento del cultivo de cilantro utilizando dos calidades de agua de riego (residual cruda y tratada):	13
A) Implementación de columnas para establecimiento del cultivo de cilantro con suelos del Valle del Mezquital.....	13
B) Colecta de suelo inalterado.....	13
C) Germinación de cultivos.....	15

D) Preparación de columnas con los 3 tipos de suelos y aplicación de tratamientos en los riegos.....	15
Apoyo en la preparación de muestras para análisis en laboratorio.....	19
A) Humedad.....	19
B) Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE).	19
C) Pesado de muestras para determinación de nitratos y amonio.	20
D) Pesado para la determinación de cationes intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}	20
E) Análisis de metales pesados.	20
F) Determinación de nitrógeno total y carbono orgánico.	21
G) Apoyo en análisis de experimentos.	21
H) Apoyo en la toma de muestras y operatividad de la unidad de investigación “Estación de lisímetros”.	22
Vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios	22
Conclusiones.....	24
Bibliografía	25

Resumen

Este trabajo describe las actividades realizadas durante el periodo comprendido entre octubre del 2022 y abril del 2023, lapso en el cual se realizó el servicio social en el Laboratorio de Edafología Experimental y Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología de la UNAM. Durante dicho tiempo se efectuaron actividades que apoyaron al montaje y desarrollo de dos experimentos en condiciones de invernadero; ambos experimentos utilizaron suelo del valle del Mezquital. El primero evaluó el efecto de uso de lodos residuales como mejorador de suelo y el segundo evaluó la actividad biológica en el crecimiento del cultivo de cilantro utilizando dos calidades de agua de riego (residual cruda y tratada). Teniendo en cuenta que el suelo es un recurso natural no renovable y que por el largo periodo de formación es necesario lograr un aprovechamiento que permita su conservación. Este servicio tuvo como objetivo consolidar los conocimientos teóricos y fortalecer las habilidades técnica de laboratorio y experimentales que brinden la oportunidad de participar íntegramente en el equipo de trabajo del Laboratorio de Edafología Ambiental y ser apto para colaborar en los proyectos e investigaciones que ahí se elaboran, adquiriendo así nuevos conocimientos y aptitudes que permitan maximizar y definir mis capacidades profesionales. El trabajo se concentró en el apoyo e instalación de dos experimentos, los cuales se desarrollaron en el invernadero del Instituto de Geología. En el primer experimento se utilizaron mezclas de suelo y lodo, provenientes de la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco, en donde se probó el crecimiento de rábano en macetas. En el segundo experimento se utilizaron muestras de suelo inalterado, obtenidas en columnas esculpidas en el campo de tres localidades diferentes y tres suelos diferentes Leptosol, Phaeozems y Vertisol, de Valle del Mezquital. En ambos experimentos se evaluó además el efecto de dos calidades de agua (Residual cruda y Tratada). El servicio incluyó el trabajo experimental, apoyo en la caracterización de lixiviados y suelos, así como el apoyo en la estación de lisímetros. Tareas que

permitieron fortalecer mis habilidades de manejo y análisis de muestras de suelo y aportan información para el conocimiento de los suelos del valle del Mezquital.

Palabras clave. Suelo, Conservación, Agua Residual, Agua Tratada, Lodos EDAR.

Introducción

A lo largo de la historia, el hombre ha usado los recursos de su entorno, algunos como herramientas, otros como protección y mayoritariamente como una fuente de alimento o una forma de obtenerlo. La agricultura es un recurso cuya importancia no solo se ha basado en abastecer, proveer y mantener con alimento a las poblaciones a través de la historia; sino que también es de suma importancia económica para muchos países en la actualidad, debido a la significativa generación de empleo. La FAO estima que la agricultura sigue siendo la única fuente de ingresos de alrededor del 70 por ciento de la población rural con menores ingresos del mundo (García *et al.*, 2006).

El Valle del Mezquital, es una zona semiárida del Estado de Hidalgo (INEGI, 1992), el cual se dedica en gran medida a la actividad agrícola, misma que representa el 59% de la producción total de este estado, ésta es sostenida desde hace más de 100 años con agua residual proveniente de la zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (García-Salazar, 2019). Pero este sistema de riego es un recurso que no solo se presenta en esta zona semiárida de México, sino que se usa en regiones de países con clima o condiciones similares como India o China, que tienen una alta demanda de productos agrícolas y muestran una práctica de riego con agua residual (Jiménez y Asano, 2008).

El sistema hidrográfico en El Valle del Mezquital recibe aproximadamente $56.60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de agua residual proveniente de la Ciudad de México, 94% de esta agua se utiliza en la irrigación de cultivos en el Valle de Tula, en el estado de Hidalgo (Conagua, 2013). El aumento constante del agua residual producida en zonas urbanas, industriales y comunitarias de todo el mundo plantea problemas potenciales para la salud pública y el ambiente (ONU, 2015). De acuerdo con Bahri (1999) el uso de

aguas residuales es motivo de preocupación ya que contienen sustancias potencialmente tóxicas como metales pesados, grasas o sales que degradan la condición del suelo reduciendo su productividad y función ecológica.

Pero no solo de esta manera se observa un riesgo en el equilibrio ecológico, ya que se han encontrado varios antibióticos en cantidades considerables en el agua residual, que van aumentando con cada riego y como consecuencia hay bacterias y genes con resistencia a estos antibióticos como señalan Siemens y colaboradores en el 2007 y Dalkmann en el 2012. Sumado a esto, al realizar los procesos de tratamiento de aguas residuales se generan lodos como residuos de estos tratamientos. Los lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante el proceso de tratamiento, pueden provenir de la separación mecánica, o de tratamientos físicos, biológicos y químicos, aplicados en las plantas de tratamiento (PTAR) para la depuración del agua. Estos contienen gran cantidad de materia orgánica, macro y micronutrientes, metales pesados y agua entre otros componentes (Amador-Díaz *et al.*, 2015).

Siendo el suelo un recurso considerado no renovable ya que solo un centímetro de este depende de unos cientos de años de formación, es importante que los estudios multidisciplinarios se sigan realizando en colaboración con instituciones de alto prestigio, importancia, dedicación y especialización como lo ha venido demostrando el Instituto de Geología a través de sus múltiples laboratorios, y la colaboración con la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y las diversas universidades e institutos Alemanes, para comprender y aprovechar este recurso que provee de un invaluable aporte y servicio a la humanidad, además de brindar herramientas que nos permitan evaluar daños ecológicos y brindar una posible solución, es por eso que el objetivo del presente Servicio Social fue: Desarrollar habilidades que me permitan apoyar íntegramente al equipo de trabajo del Laboratorio de Edafología Experimental y ser un miembro apto para contribuir en los proyectos e investigaciones que ahí se elaboran, adquiriendo así nuevos conocimientos y aptitudes que me permitan maximizar y definir mis capacidades profesionales.

Lugar donde se realizó el servicio social

El servicio social se realizó en el “Laboratorio de Edafología Experimental” y en el “Laboratorio de Edafología Ambiental” en el área de Ciencias de la Tierra, ambos pertenecientes al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LAMGEN) del Instituto de Geología (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), cuya ubicación es el nuevo edificio del IG, primer piso y con dirección en Circuito de la Investigación Científica S/N, C.P. 04510, Alcaldía Coyoacán; Ciudad de México. (Fig. 1).

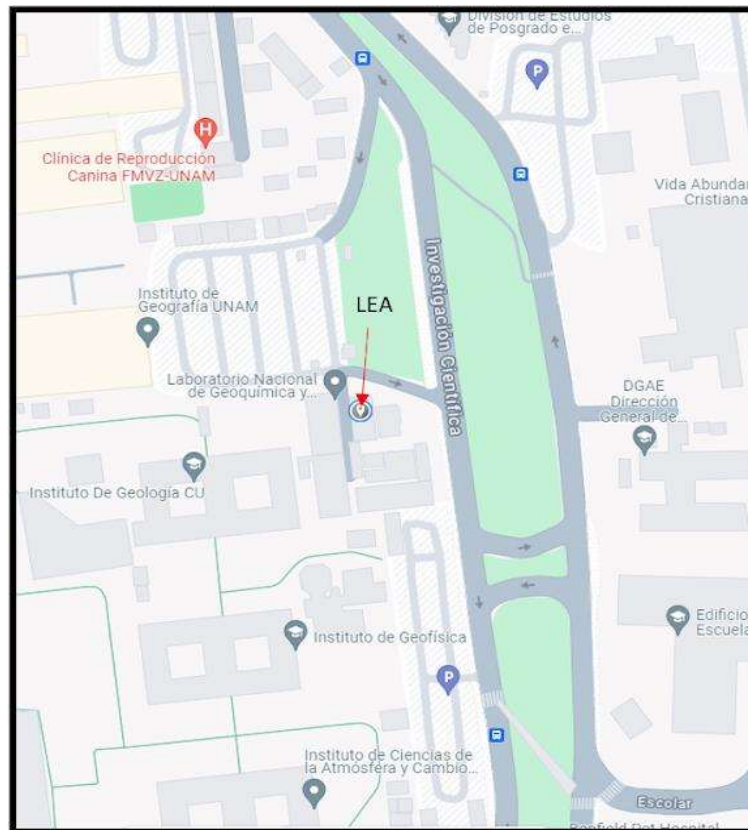


Fig. 1. Señalización de la ubicación del Laboratorio de Edafología Ambiental y Edafología Experimental dentro del Instituto de Geología en Ciudad Universitaria (Google Maps, 2024, Google). <https://www.google.com.mx/maps/@19.3276649,-99.1758834,18.25z?entry=ttu>

Marco institucional

El Instituto de Geología (IG) perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con dos sedes, Ciudad Universitaria y la Estación Regional del Noroeste (ERNO) en Hermosillo, Sonora tiene como objetivo realizar investigación y generar conocimientos entre otros campos el de las Ciencias del Suelo y áreas afines, así como el desarrollo de la infraestructura analítica y de nuevas tecnologías de servicio en el ámbito de las Ciencias de la Tierra. El IG tiene como misión generar conocimiento sobre Ciencias de la Tierra, sus procesos y recursos para el beneficio de la humanidad y el cuidado del medio ambiente y como visión la de generar proyectos de gran envergadura que posicionan a los académicos, laboratorios y capacidades de servicio como un referente dentro del marco competitivo nacional e internacional, en beneficio del desarrollo científico y tecnológico del país (Instituto de Geología, 2019).

El Laboratorio de Edafología Experimental tiene la misión de apoyar con los análisis físicos y químicos en los proyectos de Investigación básica y aplicada, así como brindar apoyo en la realización de experimentos y en proyectos de tesis para formar investigadores capacitados en el manejo de técnicas instrumentales y de análisis en materia ambiental. El Laboratorio de Edafología Ambiental tiene como fin la preparación de muestras para experimentos con suelos, agua, materia orgánica, etcétera, y se requieren diferentes métodos de análisis para el seguimiento de la evolución y monitoreo de la dinámica de contaminantes en suelo y sedimentos. El laboratorio realiza procesos de extracción, preparación y determinación de los elementos, además de impartir cursos y talleres, visitas para dar a conocer las técnicas analíticas que opera; en el desarrollo de tesis apoyando el trabajo del alumnado de diferentes grados académicos en donde se requiere la caracterización de suelos, sedimentos o matrices ambientales (Instituto de Geología, 2024).

Los laboratorios de Edafología Experimental y Ambiental tienen aportes relevantes a la sociedad ya que proveen alternativas de soluciones a problemas naturales (entorno geológico) y no naturales (contaminantes ambientales), con desarrollo

tecnológico, la formación de recursos humanos y la vinculación académica con empresas, gobierno y sociedad. Desarrollan proyectos de investigación académica, proyectos para resolver problemas de interés nacional y en la medida de lo posible, la prestación de servicios externos, con la finalidad de constituirse como una entidad de excelencia, altamente especializada en la investigación geoquímica, mineralógica y ambiental aplicada en Ciencias de la Tierra (Instituto de Geología, 2024).

Como ejemplo de algunos de los estudios realizados en estos laboratorios son los estudios sobre el efecto en el suelo por el uso del riego con aguas residuales o tratadas. Al respecto podemos ver los estudios realizados por Siebe (1994) que monitoreó las concentraciones de metales pesados presentes, encontrando un aumento en la acumulación de estos en el suelo; así mismo se encontró la transferencia de estos metales a cultivos de alfalfa y en granos de maíz (Cayetano, 2010). Pero también se ha demostrado que el uso de agua residual incrementa o mejora la disponibilidad de nutrientes como fósforo (P), nitrógeno (N) y carbono (C), además de materia orgánica (Luneberg, 2018; Broszart *et al.*, 2014; Dalkmann *et al.*, 2012; Siebe, 1998).

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar habilidades experimentales y analíticas que me permitan participar íntegramente en el equipo de trabajo del Laboratorio de Edafología Ambiental y ser un miembro apto para colaborar en los proyectos e investigaciones que ahí se elaboran, adquiriendo así nuevos conocimientos y aptitudes que me permitan maximizar y definir mis capacidades profesionales.

Objetivo del programa

Apoyar en el desarrollo del proyecto de investigación en donde se requiere realizar caracterización de suelos, tanto en campo como en laboratorio; que contribuyan al conocimiento sobre el manejo de suelo en diferentes escenarios y que permitan realizar un diagnóstico ambiental de suelos o del sistema perturbado.

Objetivos específicos

- *Participar en el desarrollo de proyectos de investigación, aprendiendo técnicas y métodos de caracterización de suelos que permitan entender las propiedades específicas que los diferencian.

- *Desarrollar habilidades en la selección de sitios y técnicas de muestreo, así como la conservación de muestras; atendiendo las especificaciones requeridas para el estudio.

- *Conocer el aspecto de control de calidad que permitan garantizar los resultados obtenidos en el laboratorio; aprendiendo y aplicando las técnicas de análisis de manera óptima de acuerdo con los MET (Metodologías implementadas) y PRESOP (Procedimientos estandarizados de operación) del laboratorio.

- *Relacionar las técnicas de muestreo y análisis de muestras obtenidas de acuerdo con las metas que se pretendan lograr en el diagnóstico ambiental.

Descripción específica de las actividades desarrolladas.

Experimento 1: Evaluación del efecto de uso de lodos residuales como mejorador de suelo:

A) Acondicionamiento de macetas para cultivos de prueba.

Se realizó el lavado de las charolas germinadoras y de las macetas; las macetas se etiquetaron y ordenaron por tratamiento y por tipo de riego en las mesas del bloque 1 del invernadero del IG.

El etiquetado y ordenamiento para las macetas fue de acuerdo con el diseño experimental en donde se probaron 3 dosis de lodo residual (0, 10 y 20 Ton/ha) y un fertilizante, además se probó dos calidades de agua (lluvia y tratada), para lo cual se dividieron en dos grupos de la siguiente forma:

Grupo 1; S1(Tes), S1(10 T), S1(20 T) y S1(Urea)

Donde:

S1 representó al suelo regado solo con agua de temporal (lluvia);

Tes, es el grupo testigo, aquel suelo sin lodos.

10 T, la proporción de 10 toneladas de lodo EDAR calculado por hectárea de suelo.

20 T, la proporción de 20 toneladas de lodo EDAR calculado por hectárea de suelo.

Urea, representa el suelo al cual se le añadió Urea.

Grupo 2; S2(Tes), S2(10 T), S2(20 T) y S2(Urea).

Donde S2 representó aquel suelo que se riega con agua tratada.

B) Germinación de cultivos. Se germinaron 400 semillas de rábano en charolas germinadoras con un sustrato de humus y 1680 semillas de cilantro en 48 cajas Petri con un sustrato de algodón, dentro del invernadero del IG.

C) **Colecta de lodos EDAR.** El muestreo de lodos secos se realizó en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua de Atotonilco (Tula, Hidalgo), en la sección de aireación y almacenaje a intemperie de los lodos.

D) **Preparación de suelo.** La preparación del suelo mezclado consistió en realizar el secado a intemperie junto con el lodo EDAR y posteriormente fueron tamizados en malla de apertura de 2 mm. De cada muestra se tomaron 100 g para realizar la caracterización inicial antes de mezclarse con el lodo y antes de ser regado.

Posteriormente se prepararon cuatro variantes de acuerdo con los grupos antes mencionados: testigo, mezclado con 10 toneladas de lodo por hectárea, mezclado con 20 toneladas de lodo, y mezclado con urea. En estas mezclas se sembraron 5 rábanos por maceta y se regaron con 2 diferentes tipos de agua, el grupo S1 con agua potable y el grupo S2 con agua tratada de la Planta Atotonilco con una cantidad de 100 ml adicionada lunes, miércoles y viernes, el sábado se les aplicaron 50 ml. El crecimiento de los rábanos fue monitoreado semanalmente, midiendo el diámetro del bulbo, el largo de las hojas y diámetro de la base de las hojas con un calibrador Vernier durante 5 de las 7 semanas

G) **Cosecha.** Tras la cosecha de los rábanos, las raíces, bulbos y hojas fueron separados, medidos y pesados de forma individual y colocados en bolsas de papel debidamente etiquetadas. Las bolsas fueron introducidas en hornos de calor seco a una temperatura de 60 °C durante 12 días, hasta quedar deshidratadas “crujientes” a su posterior análisis en el laboratorio para la determinación de metales pesados y nutrientes

H) **Muestreo de suelo.** Terminada la cosecha, se tomaron muestras de suelo de cada maceta para la caracterización de sus propiedades fisicoquímicas y realizar una comparativa entre estado inicial y final del estado del suelo.

Experimento 2: Evaluación de la actividad biológica en el crecimiento del cultivo de cilantro utilizando dos calidades de agua de riego (residual cruda y tratada):

A) Implementación de columnas para establecimiento del cultivo de cilantro con suelos del Valle del Mezquital. Se construyeron un sistema de columnas para el estudio de movilidad de compuestos en muestras inalteradas, para lo cual se prepararon 48 columnas de PVC de 22 cm de altura y con un diámetro de 10 cm, cada una contó con una tapa perforada y con un embudo de plástico pegado en la cara externa (Fig.2). Además, se realizaron 7 bases de madera con perforaciones donde se instalaron 7 columnas por cada base y estas se montaron en las mesas del bloque 2 del invernadero del IG.



Figura 2. Columnas de PVC para toma de muestras de suelo inalterado con malla para filtro y tapa con embudo para captación de lixiviados.

B) Colecta de suelo inalterado. Se realizó la toma de muestras de suelo inalterado utilizando columnas de PVC de tres tipos de suelo (16 columnas de Vertisol, 16 de Phaeozem y 16 de Leptosol) (Fig.3). Primero se excavó una calicata de 40 cm de profundidad descubriendo un perfil, el cual no se debió pisar antes y durante la obtención del grupo de columnas, cada columna tuvo que ser tomada

esculpiendo el suelo alrededor de la base para ser bajada sin golpear la columna y generar vibraciones que alteren o modifiquen la estructura original del suelo, esto ayuda a que los ensayos que se realicen para la toma de lixiviados sea lo más parecido a la condición de campo (Faz *et al.*, 2010).



Figura 3. Se muestra parte del proceso para obtener las muestras de suelo inalterado en las columnas de PVC por parte del equipo del Laboratorio de Edafología Ambiental del IG y del proyecto “PARES” de Alemania.

Cada columna se envolvió en papel aluminio para conservar su humedad y se transportaron al laboratorio en donde se mantuvieron alrededor de 5 a 8 °C hasta el montaje en el invernadero del IG.

Las muestras de suelo inalterado se obtuvieron de tres localidades del Valle del Mezquital, Phaeozems (Tlahuelilpan), Leptosol (“Bojayito”) y Vertisol (Ulapa). (Fig.4)

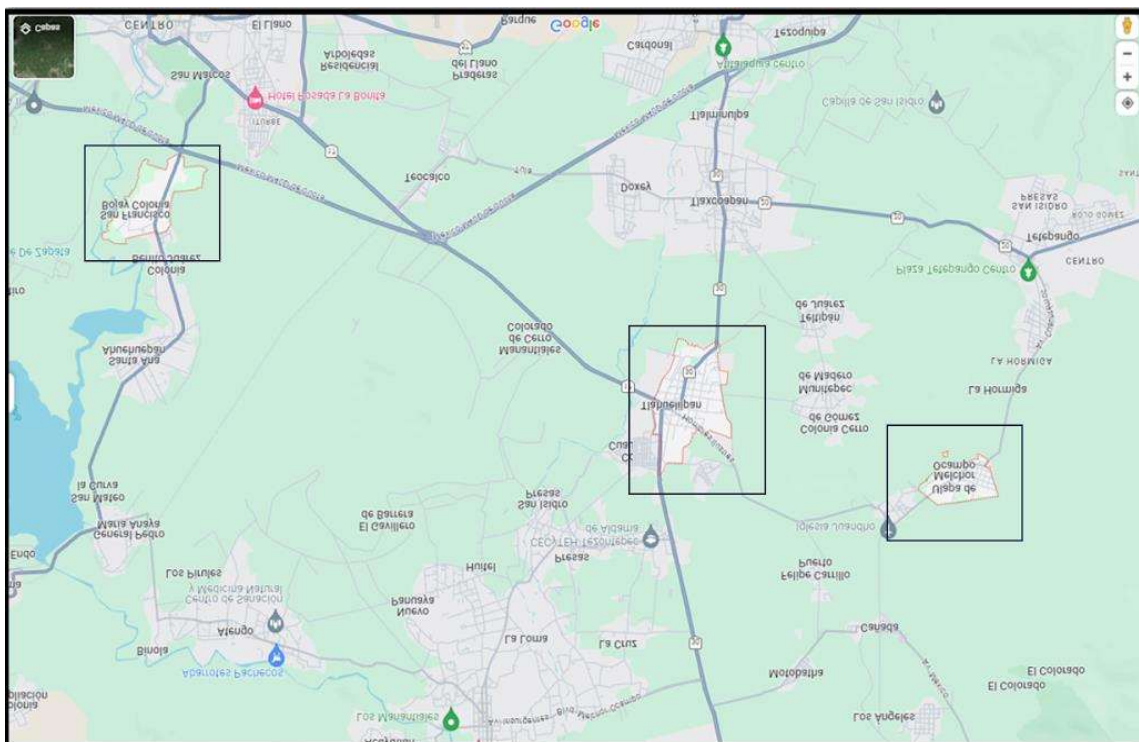


Figura 4. Señalización de las comunidades (delimitadas en cuadros) donde se realizó el muestreo de suelo inalterado en las columnas (Google Maps, 2024, Google).

https://www.google.com.mx/maps/place/Tlahuelilpan,+Hgo./@20.1317381,-99.277444,12.5z/data=!4m15!1m8!3m7!1s0x85d3d29fa26f842d:0x76c76eb379940e74!2s42827+San+Francisco+Bojay+Colonia,+Hgo.!3b1!8m2!3d20.0938585!4d-99.3466602!16s%2Fg%2F1trqhkwn!3m5!1s0x85d3d4555fa929a7:0x98dc5c0ad5bf1722!8m2!3d20.131508!4d-99.2325914!16s%2Fm%2F052_m4v?entry=ttu

C) Germinación de cultivos. Se germinaron 1680 semillas de cilantro en 48 cajas Petri con un sustrato de algodón, dentro del invernadero del IG.

D) Preparación de columnas con los 3 tipos de suelos y aplicación de tratamientos en los riegos. Para montar las columnas se emparejó la base removiendo el exceso de suelo de la parte baja de la columna (Fig.5), después se colocaron sobre las tapas, las cuales contenían una tela de nube y una cama de 1 cm de arena que funcionó como filtro de sólidos, una vez asentada la columna sobre la tapa se selló la orilla con silicón para evitar que el agua subiera por capilaridad y se colocaron frascos ámbar con los cuales se colectaron los lixiviados.



Figura 5. Remoción del exceso de suelo en la base de las columnas para su montaje en las bases ubicadas en el invernadero del IG.

Las columnas se etiquetaron por color según el tipo de tratamientos que se les aplicó quedando de la siguiente forma:

Azul (agua tratada con fármacos); verde (agua tratada sin fármacos); amarillo (agua cruda sin fármacos); rojo (agua cruda con fármacos).

De esta forma se obtuvieron dos grupos de cada color por cada tratamiento de riego, cada grupo con tres columnas, una por cada tipo de suelo.

Una vez montadas y etiquetadas las columnas se enumeraron para establecer el control y monitoreo individual. En cada columna se trasplantó la cantidad de 20 semillas de cilantro y durante las 2 primeras semanas se realizaron conteos y trasplantes por cada columna para asegurar mantener esa cantidad.

Los riegos fueron divididos en 3 etapas, en la primera etapa, solo se regaron las columnas con 200 ml agua cruda y agua tratada, en la segunda etapa se regó con el tratamiento asignado a cada grupo de columnas con la misma cantidad del agua correspondiente (200 ml), para la tercera etapa se añadió un colorante azul a todos los tratamientos, el cual sirvió para marcar la ruta preferencial del agua a través del suelo de la columna.

Los riegos se establecieron para los lunes, miércoles y viernes; la colecta y medición de lixiviados se estableció para los martes, jueves y lunes de la siguiente semana. Después de medir el volumen de lixiviados generados, se guardó el 10% en frascos ámbar y se mantuvieron en refrigeración a 8 °C hasta la siguiente colecta. El segundo día de colecta de la semana 7 de riego, después de medir el volumen y tomar el 10% de estos, se tomaron los lixiviados de las columnas que contenían suelo Phaeozem y se pasaron a través de filtros con luz de malla de 0.45 micras y el filtrado fue almacenado en congelación a -15 °C. En la semana 8, los lixiviados sobrantes de las columnas de Phaeozem se guardaron en frascos Nalgen de 250 ml y fueron congelados en nitrógeno líquido para su almacenaje en congelación a -15 °C y posterior envío a Alemania para su análisis, debido a que el IG colabora con investigadores de este país y cuyos estudios se puede consultar en la página del proyecto alemán “PARES” en su página web ([PARES-website https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/bodenkunde/boden/forschung/pares](https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/bodenkunde/boden/forschung/pares)).

Para el cilantro, tras 13 semanas de riego, se procedió a la cosecha y obtención de muestras vegetales, para lo que, se esterilizaron tijeras (con alcohol y bajo flama) y se cortó la parte aérea del cilantro (cortando medio cm por encima del suelo). De cada columna se tomaron 2 g de materia vegetal en tubos Falcon de 15 ml, el resto se pesó, se registró en bitácoras y se almacenaron en bolsas de plástico tipo ziploc para su refrigeración y transporte. Una vez terminada la cosecha se dividieron las columnas verticalmente haciendo un corte con una sierra circular de banco, una vez divididas se tomó 1 g de raíz por columna, además se identificó las zonas de paso preferencial del agua y se tomaron 15 g de suelo azul y 15 g de suelo sin color (Fig. 6).



Figura 6. Columna dividida donde se observan los canales preferenciales del agua que fueron coloreados con el marcador aplicado en los riegos.

Finalmente, como una parte importante de la experimentación, se hizo la entrega de las instalaciones, para lo que, fueron retirados los materiales empleados durante las 13 semanas de estancia, procediendo a la realización de una limpieza de toda el área del invernadero.

Apoyo en la preparación de muestras para análisis en laboratorio

Las muestras de suelo regado con agua tratada y de temporal, fueron secadas, tamizadas y se tomó una fracción de 100 g, al igual que de lodo y las mezclas suelo/lodo para realizar los siguientes análisis:

A) Humedad. Al inicio del experimento solo se tomó una muestra de 10 g en charolas de aluminio de suelo original; de igual forma el día que inició la cosecha se tomó una muestra de 10 g en charolas de aluminio de cada maceta, dando un total de 82 muestras. Una vez registrado el peso, se secaron en una estufa de calor seco a 105 °C, realizando un registro diario de los pesos hasta obtener un peso constante.

B) Determinación de pH y conductividad eléctrica (CE). Para medir el pH y la CE se pesaron 10 g de suelo tamizado en tubos Falcon de 50 ml en una balanza digital con una precisión centesimal y con un máximo de variación de error de 0.01 g de suelo (Fig.7), siendo un total de 82 muestras más 2 blancos y 2 muestras patrón estandarizadas en el laboratorio. De estas muestras el que suscribe, solo realizó la determinación de 12 muestras bajo la siguiente técnica: A cada tubo con suelo se le añadió 25 ml de agua destilada y se colocaron en agitación por 18 horas, y con potenciómetro y conductímetro se determinó el pH y la CE respectivamente de cada muestra.

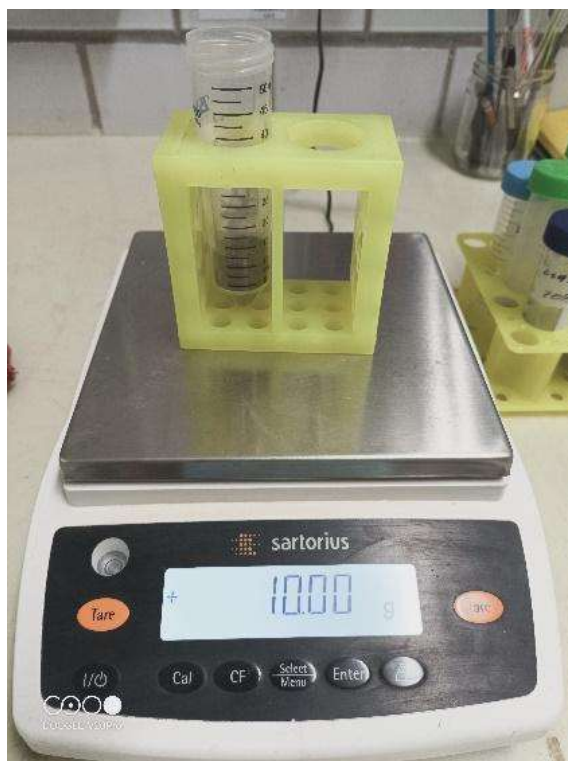


Figura 7. Pesado en balanza digital Sartorius de muestra de suelo tamizado en tubos Falcon de 50 ml. En este caso la muestra fue para la determinación de pH y de la conductividad eléctrica, pero ejemplifica la forma de pesado para las demás preparaciones descritas.

C) Pesado de muestras para determinación de nitratos y amonio. Para esta preparación se pesaron 5 g de suelo tamizado en tubos Falcon de 50 ml, se pesaron un total de 82 muestras más un par de blancos y un par de muestras patrón.

D) Pesado para la determinación de cationes intercambiables Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . En esta preparación se pesaron 4 g de suelo tamizado en tubos Falcon de 50 ml, en un total de 82 muestras más 2 muestras blancos y 2 muestras patrón estandarizadas del laboratorio.

E) Análisis de metales pesados. Esta preparación para el análisis de cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, magnesio, arsénico, mercurio y cromo, el procedimiento consistió en pesar 1g de suelo tamizado, siendo un total de 82 muestras más 2

blancos y 2 muestras patrón estandarizadas en el laboratorio. A cada muestra se le añadió 25 ml de nitrato de amonio y se agitó por 24 horas a 120 rpm, el líquido se filtró en membranas de 0.45 micras de tamaño de poro y se conservaron a 8 °C. Bajo este mismo procedimiento se realizó la digestión en la materia vegetal de los rábanos, los cuales fueron molidos después de ser secados a 60 °C como se describió previamente, dando un total de 80 muestras de hojas y 80 muestras de bulbos.

F) Determinación de nitrógeno total y carbono orgánico. En esta preparación fue necesario moler 2 g de suelo en molino de Ágata y tamizar en tamiz del número 100, obteniendo un total de 82 muestras (Fig.8).



Figura 8. Molino de Ágata usado para moler las muestras de suelo en la determinación de concentración de carbono y nitrógeno total y carbono orgánico.

G) Apoyo en análisis de experimentos. Del experimento en columnas, el exceso de suelo retirado de cada columna al momento de montarlas y del suelo al final del experimento, cuando las columnas fueron cortadas verticalmente, se realizó la determinación de humedad. La caracterización inicial y final se realizó con los mismos procedimientos antes mencionados, dando un total de 48 muestras más 48 de réplica. Para los experimentos en macetas, de los tratamientos S1, S2, S1 10T,

S1 20T, S2 10T y S2 20T, se pesó una muestra de 10 g cada una y con una réplica, después se adicionaron 25 ml de agua y se pusieron en agitación durante 18 horas, transcurrido el tiempo se dejaron reposar 20 min y se determinó el pH y la CE.

H) Apoyo en la toma de muestras y operatividad de la unidad de investigación “Estación de lisímetros”. Como parte de la estancia en el Laboratorio de Edafología Experimental, la primera semana de los meses que comprendió el Servicio Social, se asistió a la estación de lisímetros en apoyo a los tesisistas de posgrado, durante este periodo se tomaron un total de 600 muestras de lixiviado por gravedad, 60 muestras de condición frontera por lisímetro, de los cuales el lisímetro 1, 3 y 5 fueron regados con agua residual y el 2, 4 y 6 con agua tratada; más 12 muestras de agua de riego de las cuales 6 fueron de agua residual y 6 de agua tratada.

Vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios

Las actividades que se han descrito a lo largo del documento y que narran la labor realizada durante el Servicio Social por el adscrito, se enlazan con los objetivos y propósitos que la Licenciatura en Biología de la UAM-Xochimilco, a través de las Unidades de Enseñanza-Aprendizaje (UEA), ya que estas tienen como objetivo, formar profesionales capaces de desarrollar y evaluar estrategias de manejo de los recursos naturales bióticos a partir de actividades científicas y de formación técnico-académicas bajo una perspectiva multidisciplinaria, de esta forma el Servicio Social cumple el propósito de acercar al que suscrita a un ámbito científico, donde aplicó conocimientos y habilidades aprendidos durante la licenciatura y que servirán para el ejercicio de la profesión.

De forma directa las actividades se vincularon a la UEA “Biodiversidad y Recursos Naturales” cuyo Objeto de Transformación es: como los factores físicos, químicos,

biológicos y sociales originan y condicionan la diversidad biológica y a los recursos naturales. Los temas que implica el trabajo son el concepto de recurso natural, el valor ético, estético, ecológico y económico de los recursos naturales bióticos, el cambio espacio-tiempo (ecológicos y biogeográficos) en la diversidad por efecto de los factores físicos, químicos y biológicos, en el equilibrio de las relaciones bióticas y abióticas que afectan la biodiversidad (UAM-X, 2019). Otra UEA de suma importancia es “Ciclos Biogeoquímicos” con el Problema Eje “los efectos que la alteración de un ecosistema causa a la dinámica y evolución de los ciclos biogeoquímicos” y los temas: Origen y distribución de los compuestos químicos asimilables por los organismos en la litosfera, hidrosfera y atmósfera; así como métodos de análisis y diagnóstico (UAM-X, 2019).

Todas las actividades realizadas, más el conocimiento adquirido durante el Servicio Social, me permitieron comprender la relevancia del suelo y sus características fisicoquímicas y lo importante de su conservación; ya que la variedad de vida comprende desde la subterránea a las especies superiores, siendo el suelo de vital importancia para las comunidades que lo conforman, así como los complejos ecológicos a los que contribuyen y a los que pertenecen, desde los microhábitats de los suelos hasta los paisajes. Las características físico-químicas del suelo permiten el desarrollo o limitación de estos entornos, al impactar significativamente la disponibilidad de nutrientes tanto para las plantas como para otros organismos, además de que en la agricultura nos permiten identificar las propiedades aptas de los suelos para ciertos cultivos, favoreciendo el desarrollo de raíces, disponibilidad y absorción de nutrientes, competencia entre plantas y microorganismos, y cómo por medio de las diversas presiones antrópicas ejercidas por las prácticas intensivas de la agricultura se pueden ver alteradas o se pueden estudiar formas que permitan un estado resiliente en el suelo (Porta *et al.*, 2003).

Las habilidades que se ampliaron y obtuvieron al realizar el servicio social fueron:

1. Buenas prácticas de laboratorio
2. Reglas de seguridad en el laboratorio

3. Manejo de residuos
4. Muestreo de suelos
5. Muestreo de mezclas compuestas
6. Elaboración de perfiles para clasificación de suelo
7. Preparación de muestras para análisis de suelo y materia vegetal
8. Preservación de muestras por congelación con nitrógeno líquido
9. Uso de potenciómetros para medir pH y conductímetro para conductividad eléctrica
10. Filtración de muestras y obtención de partículas retenidas
11. Transporte y almacenamiento de muestras
12. Apoyo en el montaje y seguimiento de experimentos
13. Conocimiento y apoyo en la operatividad de lisímetros

Conclusiones

El trabajo realizado durante el Servicio Social como apoyo a los laboratorios de Edafología Experimental y Ambiental, contribuyó al desarrollo de experimentos con lo que se obtuvo y comprendió el impacto y alteración en los suelos del Valle del Mezquital, el cual ha venido manteniendo la producción agrícola de la zona a través del tiempo debido al tipo de riego. Asimismo, las actividades contribuyeron al seguimiento y monitoreo de experimentos dirigidos al uso de lodos EDAR como nutrientes en dos cultivos de importancia para la zona. Además, el trabajo realizado abonó a fortalecer los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en la licenciatura en Biología de la UAM-X.

Bibliografía

*Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46, 1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

*Bahri, A. (1999). Agricultural reuse of wastewater and global water management. *Water Science & Technology*, 40(4-5), 339-346. [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(99\)00516-8](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(99)00516-8)

*Broszat, M., Nacke, H., Blasi, R., Siebe, C., Huebner, J., Daniel, R., & Grohmann, E. (2014). Wastewater irrigation increases the abundance of potentially harmful gammaproteobacteria in soils in Mezquital Valley, Mexico. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(17), 5282-5291. <https://doi.org/10.1128/aem.01295-14>

*Cayetano, M. (2010). Cambio de las propiedades del suelo en un periodo de 20 años en una parcela regada con agua residual del Valle del Mezquital (Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de México).

*CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2013). Estadísticas del agua de la región hidrológico-administrativa XIII, Aguas del Valle de México. México, D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

*Dalkmann, P., Broszat, M., Siebe, C., Willaschek, E., Sakinc, T., Huebner, J., Amelung, W., Grohmann, E., & Siemens, J. (2012). Accumulation of pharmaceuticals, enterococcus, and resistance genes in soils irrigated with wastewater for zero to 100 years in Central Mexico. *PLoS ONE*, 7(9), e45397. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045397>

*Faz, A., Carmona, D.M, & Pérez, T. (2010). Sistema de extracción, envasado, transporte y preparación de ensayos en las muestras de suelo inalterado. Oficina Española de Patentes y Marcas. Solicitud num. 20103015.

*García, Z., Nyeber J. & Owaise S. S. (2006). Agricultura, expansión del comercio y equidad de género. División de género y población de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/a0493s/a0493s00.htm#Contents>

*García-Salazar, E.M. (2019). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del mezquital, Hidalgo, México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29 (54), 1-34.

*INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (1992). Síntesis geográfica del estado de Hidalgo. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220945/702825220945_2.pdf

*Instituto de Geología. (2019). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Origen e Historia. <https://www.geologia.unam.mx/contenido/historia-instituto-de-geologia>.

*Instituto de Geología. (2024). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Departamento de Ciencias Ambientales y Laboratorios. Laboratorio de Edafología Experimental. <https://www.geologia.unam.mx/departamentos/ciencias-ambientales-y-del-suelo/infraestructura/laboratorio-de-edafologia-experimental>.

*Jiménez, B. & Asano, T., (2008). An international survey on current practice, issues and needs. Water reclamation and reuse around the world (pp 3-26) IWA Publishing, London, England.

*Luneberg, K., (2018). Efecto del cambio de uso de suelo y de las prácticas de irrigación en la comunidad microbiana del suelo del Valle del Mezquital, Hidalgo. (Tesis Doctorado, Universidad Autónoma de México).

*ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2015). Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo: Agua para un mundo sostenible. Resumen ejecutivo (pp. 1-8). Colombella, Perugia, Italia. <http://www.unesco.org/new/es/naturalsciences/environment/water/wwap/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>.

*PARES web site

<https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/bodenkunde/boden/forschung/pares>

*Porta, J., Lopez-Acevedo, M. & Roquero, C. (2003). Edafología: para la agricultura y el medio ambiente, (pp 443-465) 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.

*Siebe, C. (1994). Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 10(1), 15-21. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-internacional-de-contaminacion-ambiental/articulo/acumulacion-y-disponibilidad-de-metales-pesados-en-suelos-regados-con-aguas-residuales-en-el-distrito-de-riego-03-tula-hidalgo-mexico>

*Siebe, C. (1998). Nutrient inputs to soil and their uptake by alfalfa though long-term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico. *Soil Use Management*, 14(2), 119-122 <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00628.x>

*Siemens, J., Huschek, G., Siebe, C., & Kaupenjohann, M. (2007). Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City–Mezquital Valley. *Water Research*, 42(8-9), 2124-2134. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.019>

*UAM-X (Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco). (2019). Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Programa de Estudios, Biología. http://www2.xoc.uam.mx/oferta-educativa/divisiones/cbs/licenciaturas-posgrados/pplic/biologia/plan/programa_biologia_2019.pdf.