

_____ Guía de Laboratorio

Remediación de Suelos Contaminados

Guía de Laboratorio
Remediación de Suelos Contaminados

Primera edición digital
Huancayo, 2022

De esta edición

© Universidad Continental, Oficina de Gestión Curricular
Av. San Carlos 1795, Huancayo-Perú
Teléfono: (51 64) 481-430 anexo 7361
Correo electrónico: recursosucvirtual@continental.edu.pe
<http://www.continental.edu.pe/>

Cuidado de edición

Fondo Editorial

Diseño y diagramación

Fondo Editorial

Todos los derechos reservados.

La *Guía de Laboratorio*, recurso educativo editado por la Oficina de Gestión Curricular, puede ser impresa para fines de estudio.

Contenido

Presentación	5
Primera Unidad	7
Semana 1: Muestreo de suelos para diagnóstico de contaminación	8
Semana 3: La materia orgánica como mejorador de propiedades físicas de suelos contaminados	16
Segunda Unidad	21
Semana 6: Necesidades de encalado de un suelo ácido contaminado	22
Tercera Unidad	27
Semana 9: Extracción de metales pesados de suelos contaminados mediante lavado con aplicación de quelatos	28
Cuarta Unidad	35
Semana 12: Remediación de suelos salinos	36
Referencias	41

Presentación

La guía de laboratorio Remediación de Suelos Contaminados constituye una herramienta metodológica, para desarrollar las prácticas de la asignatura en el marco del aprendizaje colaborativo y experiencial.

Contiene los ensayos a desarrollarse, utilizando procedimientos factibles y viables, iniciando con el muestreo de suelos contaminados y los experimentos de remediación, con el uso de técnicas físicas, químicas y biológicas.

Los resultados a obtenerse son las mediciones en suelos remediados, tanto de las propiedades físicas, hídricas, químicas y de crecimiento de organismos, que validen las técnicas aplicadas, incluidas la sistematización, el procesamiento y la interpretación de datos.

Los estudiantes deben revisar la guía de laboratorio antes de ingresar a desarrollarla en la sesión programada para absolver dudas y lograr el resultado previsto.



Primera Unidad



Muestreo de suelos para diagnóstico de contaminación

Instrucciones

Leer la guía antes de desarrollarla en video clase. Al final de la sesión, en equipos de trabajo, presentar los resultados solicitados.

I. Objetivo

El estudiante será capaz de realizar el muestreo de suelos con fines de diagnóstico de contaminación.

II. Fundamento teórico

El objetivo principal del procedimiento de muestreo es coleccionar muestras representativas del lugar que se está investigando. El propósito del muestreo de un sitio contaminado es adquirir información que ayude a determinar la presencia e identidad de los contaminantes presentes y el grado en que estos podrían entrar en el ambiente circundante (Ford y otros, 1984).

El muestreo de suelo se diseña y conduce para cumplir con los siguientes objetivos (Barth y otros, 1989):

- Determinar el riesgo a la salud humana y al ambiente debido a la contaminación del suelo por compuestos específicos.
- Determinar la presencia y concentración de contaminantes específicos, con respecto a niveles de fondo o ECA de suelos.
- Determinar la concentración de contaminantes y su distribución espacial y temporal.
- Medir la eficiencia de acciones de remediación.
- Obtener mediciones para validación o uso de modelos de transporte y deposición de contaminantes en el suelo.

- Determinar el riesgo potencial a la flora y fauna por contaminantes específicos.
- Identificar fuentes de contaminación, mecanismos o rutas de transporte y receptores potenciales.

El plan del muestreo de suelos necesita definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio, especificando lo siguiente: I) el área en la que se focalizarán los esfuerzos de muestreo, II) objetivos del plan de muestro, III) los tipos de muestreo según los objetivos definidos, IV) la determinación de la densidad, y posición de puntos de muestreo, V) los procedimientos de campo, VI) los métodos de conservación de muestras, y VII) las necesidades analíticas a desarrollarse (Minam, 2014).

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los estándares de calidad ambiental y/o los valores de fondo según lo establecido en el ECA de suelos. El alcance del muestreo de identificación estará definido por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio (Minam, 2014).

III. Equipos y materiales

1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Cámara fotográfica	Ampliación 10x	1
2	GPS	Para coordenadas UTM y altitud	1
3	Tubo muestreador	Longitud de 3 m	1
4	Tabla Munsell	De suelos	1

2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Libreta de campo	De 50 hojas	1
2	Bolsas de polietileno	30 cm × 20 cm × 0.5 mm	1
3	Lampa	Plana y recta	1
4	Manta de yute	1.5 m × 1.5 m	1
5	Bolsa de yute	De 20 kg	1
6	Cinta métrica graduada	De lona	1
7	Plumón de tinta indeleble	Negro	1
8	Etiquetas	10 cm × 10 cm	1
9	Cinta de embalaje	3 cm de ancho	1
10	Lupa	10x	1
11	Picota	De geólogo	1

IV. Instrucciones

Utilizar equipos de protección personal (EPP), que incluyen guantes y mascarilla, para evitar el contacto directo con el suelo.

V. Procedimientos

- Ubicar la parcela de suelo agrícola donde se realizará el muestreo con fines de diagnóstico, la cual no debe estar con cultivo o plantas en crecimiento para evitar alterar los resultados del análisis.
- Registrar las coordenadas UTM de la parcela de muestreo.
- Determinar el número mínimo de puntos de muestreo, utilizando en la siguiente tabla.

Tabla 1. Número mínimo de puntos de muestreo para el muestreo de identificación de contaminación.

Área de potencial interés (ha)	Puntos de muestreo en total
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

En áreas superiores a 100 ha se utilizará la siguiente ecuación (Guía de muestreo de suelos, Minam, 2014):

$$N = 0.1X + 40$$

Donde:

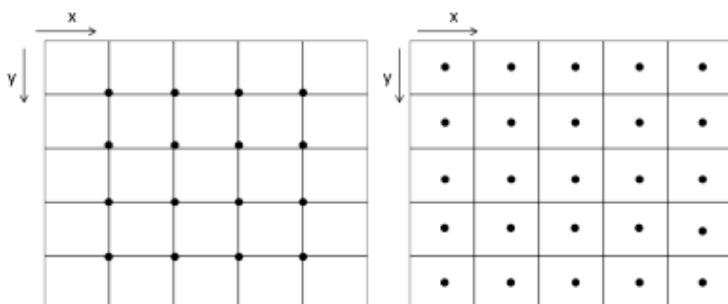
N = Número mínimo de puntos de muestreo

X = superficie en hectáreas

- La profundidad de muestreo deberá ser la profundidad de la aradura del suelo agrícola, 30 cm en promedio.
- Para obtener una muestra de suelo, esta debe ser compuesta; es decir si el área del suelo a muestrear es de 1 hectárea, entonces se debe obtener 9 muestras compuestas de suelo. Cada muestra compuesta debe provenir de 15 muestras simples como mínimo.

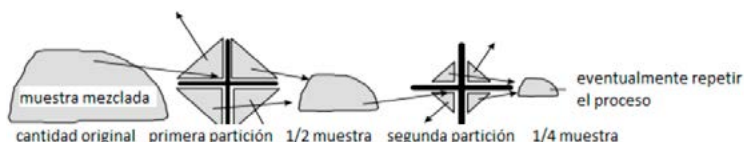
- Utilizar la técnica de muestreo sistemática, a una distancia de cuadrícula predeterminada según el área de la parcela a muestrear. Utilizar como guía el siguiente esquema de la figura 1.

Figura 1. Rejillas regulares para el muestreo de diagnóstico de suelos contaminados.



- Para obtener la muestra compuesta, seguir el procedimiento del cuarteo. Utilizar el ejemplo de la Figura 2.

Figura 2. Procedimiento de cuarteo para obtener una muestra compuesta.



Nota: Adaptado de LfUMerblatt 3.8/4; 2010, Alemania.

- Cada una de las muestras obtenidas se colocan dentro de la bolsa de polietileno en una cantidad promedio de 1 kg, la cual llevará una etiqueta, con la siguiente información, impresa con tinta indeleble:
- Clave de la muestra (lugar y número, ejemplo: para la muestra 1 del distrito de San Lorenzo: SL_1).
- Lugar de muestreo.
- Fecha de muestreo.
- Apellidos y nombres de la persona que realizó el muestreo (o grupo de trabajo).

- Posteriormente, rellenar la ficha de muestreo de suelos, que recogerá la información levantada de campo, que incluye las técnicas de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas.

VI. Resultados

Ficha de muestreo de suelos

1. Datos generales:

Nombre del sitio de muestreo:	Departamento:
Razón social:	Provincia:
Uso principal.	Dirección del predio:

2. Datos del punto de muestreo:

Nombre del punto de muestreo:	Operador:
Coordenadas UTM:	Descripción de la superficie:
Temperatura (°C):	Precipitación pluvial:
Técnica de muestreo:	Instrumentos usados:
Profundidad:	Napa freática:

3. Datos de la(s) muestra(s):

Nombre del punto de muestreo:	Operador:
Clave de la muestra:	
Fecha:	
Hora:	
Profundidad (cm) desde:	
Profundidad (cm) hasta:	
Características organolépticas, color:	
Olor:	

continúa...



...viene

Textura:	
Compactación/consistencia:	
Humedad:	
Componentes antropogénicos:	
Estimación de la fracción >2mm (%):	
Cantidad de la muestra (kg):	
Medidas de conservación:	
Tipo de muestra (simple o compuesta)	
Para muestras superficiales compuestas:	
Área de muestreo (m ²)	
Número de submuestras:	

Comentarios:	Croquis:

- Cada muestra debe tener la documentación de la cadena de custodia con la siguiente información:
 - El número de la hoja de custodia proporcionada por el laboratorio acreditado.
 - El nombre de la empresa y del responsable del muestreo.
 - Los datos de identificación del sitio (coordenadas UTM).
 - La fecha y hora de muestreo.
 - Las claves de las muestras.



- Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- Los análisis o la determinación requerida.
- El número de envases.
- Observaciones.
- Identificación de las personas que entregan y reciben en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha y hora.
- Las consideraciones de seguridad de las muestras a tener en cuenta:
 - El traslado de las muestras deberá ser realizado con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello deben ser embaladas asegurando la completa inmovilidad de los recipientes que las contienen durante el transporte.
 - El traslado de las muestras al laboratorio se debe hacer dentro de los plazos recomendados (para metales pesados: sin restricciones).
 - Para la seguridad y limpieza de la muestra, se debe incluir guantes de látex, agua desionizada, lentes de seguridad, toallas de papel, mascarilla para polvos y franelas. Usar etiquetas adheribles, marcador indeleble, cinta adhesiva y bolígrafos.
 - No deben ser analizadas muestras cuyos sellos hayan sido violados.

VII. Conclusiones

Cada equipo de trabajo presentará sus conclusiones de la práctica desarrollada.

VIII. Recomendaciones

Cada equipo de trabajo analizará en interno los resultados de la práctica y, posteriormente, compartirá con los demás equipos de trabajo, para su calificación, según la ficha de observación.



La materia orgánica como mejorador de propiedades físicas de suelos contaminados

Instrucciones

Leer la guía antes de desarrollarla en video clase. Al final de la sesión, en equipos de trabajo, presentar los resultados solicitados.

I. Objetivo

El estudiante será capaz de instalar un experimento y evaluar sus resultados, utilizando suelos contaminados.

II. Fundamento teórico

- Los contaminantes del suelo al entrar en contacto con las partículas del suelo, pueden ser retenidos por adsorción sobre la superficie de las partículas, o acumularse en los espacios intergranulares, donde pueden concentrarse reteniendo su composición química original, o pueden ser alteradas por reacciones químicas.
- Los contaminantes retenidos de esta manera en el suelo pueden estar en la capa superficial del suelo, o en sus espacios intersticiales, y pueden ser orgánicos, inorgánicos, o una mezcla o complejos de ambos. Ellos llegan al suelo en diferentes condiciones físicas como solutos, líquidos inmiscibles en agua o partículas suspendidas. Los mecanismos de su interacción con el suelo dependen de los parámetros físicos prevalentes en el suelo, como temperatura, humedad, así como de sus propiedades físicas y químicas (Mirsal, 2010).
- El humus se forma durante la descomposición microbiana de los residuos vegetales y animales, por degradación de componentes celulares, y en la síntesis de ciertos produc-

tos por los organismos del suelo. Este componente del suelo aumenta la capacidad autodepuradora del suelo al facilitar los mecanismos de solubilidad de la materia mineral insoluble, unido ello a la mejora de las características físicas del soporte, a la disminución de la toxicidad de ciertos contaminantes, a la mejora de la capacidad de retención de agua, y a su poder de mantenimiento de grandes poblaciones de microorganismos (Seoánez, 1999).

- Una razón principal de la agregación de materiales orgánicos al suelo es el incremento de la tasa de infiltración y la capacidad de retener agua. La materia orgánica agregada al suelo tiene un efecto especialmente pronunciado sobre la capacidad de retener agua de muchos suelos de textura gruesa, los cuales pueden ser frecuentemente mejorados por estas enmiendas orgánicas. El compost y el humus de lombriz se constituyen en fuentes orgánicas ambientalmente sostenibles para su uso (Weil y Brady, 2016).
- La penetración del agua a través del suelo está asociada a un arrastre de partículas orgánicas e inorgánicas que van siendo adsorbidas, en mayor o menor cuantía, según el producto de que se trate y según el tipo de suelo. Esta capacidad de adsorción es mayor en los suelos de textura fina que en los de textura gruesa, aumentando la capacidad de adsorción por muchos productos en función del mayor contenido de materia orgánica del suelo receptor (Seoánez, 1999).

III. Equipos, materiales y reactivos

1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	De precisión de 3 ejes	1

2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Suelo contaminado	Seco al aire	200 g
2	Arena	Seco al aire	200 g
3	Estiércol de lombriz	100 ml	200 g
4	Papel Kraft	Pliego	6
5	Espátula tipo cuchara	De metal	6
6	Probeta	De 100 ml	6
7	Embudos de vidrio	Tallo corto	6
8	Papel filtro	Whatman N.º 42	6
9	Tampón circular de jebe	10 cm de diámetro	6
10	Matraces	250 ml	6
11	Tamiz	N.º 10 (2 mm \)	6

3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Agua	6 litros

IV. Instrucciones

Utilizar equipos de protección personal (EPP), que incluye guantes y mascarilla, para evitar el contacto directo con el suelo.

V. Procedimientos

Primero

Influencia de la materia orgánica sobre la densidad y porosidad del suelo contaminado

- Pese las siguientes muestras sobre una superficie de papel liso y colóquelas en la mesa del laboratorio:
 - a) 50 g de suelo en estudio.
 - b) 50 g de arena.

- c) 50 g de suelo en estudio + 40 g de estiércol de lombriz.
- d) 50 g de arena + 40 g de estiércol de lombriz.
- Mezcle uniformemente las muestras con la ayuda de una espátula tipo cuchara.
- Coloque las mezclas de cada tratamiento dentro de una probeta.
- Calcule la densidad aparente, densidad real y porosidad de cada tratamiento.

Segundo

Influencia de la materia orgánica sobre las relaciones de humedad

- Transfiera 25 g de muestra de cada tratamiento, sobre las cuales se ha determinado densidad aparente a los embudos colocados sobre los matraces de Erlenmeyer, a los cuales previamente se ha colocado papel filtro humedecido.
- Agregue 80 ml de agua a cada tratamiento.
- Observe la velocidad de drenaje en cada tratamiento.
- Después que ha cesado el drenaje, anote los datos de agua de drenaje y calcule la humedad retenida en cada tratamiento.

VI. Resultados

Registre los resultados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Influencia de la materia orgánica en la densidad y porosidad de un suelo contaminado.

Tratamiento	Arena	Arena + MO	Suelo	Suelo + MO
Peso de muestra (g)				
Volumen de muestra (ml)				
Densidad aparente				

continúa...

...viene

Cambio de la densidad aparente debido a la MO				
Densidad real				
Cambio de la densidad real debido a la MO				
Porosidad total				
Cambio de la porosidad debido a la MO				

Tabla 2. Influencia de la materia orgánica en la retención de agua de un suelo contaminado.

Datos	Arena	Arena + MO	Suelo	Suelo + MO
1. Peso de muestra (g)				
2. Agua añadida (ml)				
3. Agua drenada (ml)				
4. Agua retenida (ml) (2-3)				
5. Agua retenida (g)				
6. Capacidad retentiva de humedad (%)				
7. Cambio de capacidad retentiva debido a la MO				

VII. Conclusiones

1. Redacte sus conclusiones sobre el efecto de la materia orgánica sobre la densidad aparente, densidad real y porosidad del suelo.
2. Redacte sus conclusiones del efecto de la materia orgánica sobre la retención de humedad.

VIII. Recomendaciones

Redacte sus recomendaciones en base a los resultados obtenidos.

Segunda Unidad



Necesidades de encalado de un suelo ácido contaminado

Instrucciones

Leer la guía de práctica antes de ingresar al laboratorio y seguir los procedimientos propuestos. Cada práctica es calificada. Las prácticas se desarrollan en equipos de trabajo.

I. Objetivo

El estudiante será capaz de determinar las necesidades de encalado en suelos ácidos contaminados.

II. Fundamento teórico

Los suelos minerales y las turbas que tiene un pH (en agua) debajo de 6.5 o pH 5.8 respectivamente normalmente requieren encalado con CaCO_3 para la agricultura de labranza, parcialmente para evitar la toxicidad de aluminio. En forma similar, los suelos pueden ser encalados hasta pH alrededor de 7 para evitar la toxicidad de metales contaminantes como Pb, Ni, Cu, Cd, Zn, Hg, Sn (Young, 2013).

El encalado consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de acidez son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio (Ca) y magnesio (Mg). Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización (Espinoza y Molina, 1999).

El hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, que se conoce también como cal apagada, cal hidratada o cal de los constructores, es una sustancia blanca, polvorienta, difícil y desagradable de manejar. Este material reacciona rápidamente en el suelo; es preparada hidratando el óxido de calcio (CaO) y tiene un

alto valor de Carbonato de calcio equivalente (CCE) (Havlin y otros, 2014).

El suelo contiene H^+ en solución (activo) e H^+ de reserva (intercambiable), ambos en equilibrio, de forma que si este se altera en un sentido, el suelo tiende a equilibrarlo. El ejemplo típico es el de un suelo ácido que recibe un aporte alcalino (un encalado como enmienda o simplemente un vertido o un depósito contaminante), al recibir este material, el H^+ en solución se neutraliza, y entonces parte del H^+ en reserva se ioniza y decrece lentamente, el H^+ en solución también, y así sube lentamente el pH (Seoánez, 1999).

III. Equipos, materiales y reactivos

1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	De precisión de 3 ejes	6
2	Balanza	De precisión (0.001 g)	1
3	Tamiz	De 2 mm de malla (N° 10)	6
4	Potenciómetro	De suelo	6

2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Suelo contaminado de pH ácido	Seco al aire	500 g
2	Vasos de precipitación	250 ml de capacidad	36
3	Probeta graduada	De 100 ml	6
4	Espátula tipo cuchara	De metal	6
5	Embudos de vidrio	De tallo corto	6
6	Pipetas graduadas	10 ml	6
7	Papel filtro	Whatman N.º 42	12
8	Buretas graduadas	50 ml	6
9	Matraces	250 ml	6
10	Soporte de buretas	De metal	6
11	Pizetas	De plástico, 500 ml	6
12	Varillas de vidrio	10 cm de largo	6

3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Agua	6 litros
2	Solución de KCl	1 Normal	1200 ml
3	Solución de fenolftaleína	Contenida en un frasco gotero	100 ml
4	Hidróxido de sodio	0.1 N	1000 ml
5	NaF	1 Normal	200 ml
6	HCl	0.1 Normal	1000 ml
7	Hidróxido de calcio	Calidad reactivo	200 g

IV. Instrucciones

1. Antes de iniciar el experimento, tamizar el suelo, el cual debe estar seco.
2. Utilizar guantes y mascarilla y evitar el contacto directo con el suelo contaminado.

V. Procedimientos

Primero

Determinación del pH del suelo (método del potenciómetro)

- Pesar 20 g de TFSA y colocarlo en un vaso de 100 ml.
- Agregar 20 ml de agua al vaso conteniendo el suelo.
- Agitar por cinco minutos con una varilla de vidrio y dejar en reposo hasta la lectura del pH. Inmediatamente, antes de la lectura del pH, mezclar la suspensión.
- Hacer la lectura del pH en el potenciómetro, calibrando previamente el equipo, lavando los electrodos con agua destilada y limpiando con papel filtro, muy cuidadosamente.
- Registrar los resultados.

Segundo

Determinación de la acidez intercambiable (método de Yuan)

- Colocar 10 g de muestra de suelo en un vaso de 100 ml, agregar 20 ml de KCl 1N y agitar durante 20 minutos.
- Verter el contenido del vaso en un Erlenmeyer de 200 ml, colocando previamente un embudo con papel filtro humedecido.
- Realizar lavados sucesivos con un volumen total de 150 ml de KCl 1N (incluyendo los 20 ml iniciales).
- Sacar el embudo con papel filtro.
- Agregar al filtrado 10 gotas de fenolftaleína y titular con NaOH 0.1 N hasta la aparición de un color rosado. Anotar el gasto.
- Posteriormente, agregar 20 ml de NaF al extracto de color rosado y titule con HCl 0.1 N hasta que se torne incoloro. Esta condición debe durar como mínimo un minuto.
- Realice los cálculos considerando la siguiente información:

El $\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$ es igual a la titulación con NaOH

El Al^{+3} es igual a la titulación con HCl

$$\text{Acidez Intercambiable} \left(\frac{\text{cmol}}{\text{kg}} \right) = \frac{Nxb}{M} \times 100$$

Donde:

N = normalidad de la solución que se titula

b = ml de solución gastados en la titulación

M = masa de suelo utilizado

Tercero

Prueba de incubación

- Esta prueba constituye una adaptación del método de incubación realizada con fines práctico-experimentales.
- Pesar 6 muestras de suelo, cada una de 50 g y colocarlas en vasos de 250 ml.



- En el caso del material encalante, se utilizarán dosis crecientes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, por ser una enmienda de reacción rápida. Los niveles serán 0, 1, 2, 3, 4 y 5 $\text{cmol Ca}^{+2} \cdot \text{kg}^{-1}$ para cada muestra de suelo.
- Agregar cada uno de los niveles de la enmienda en las muestras de suelo ya pesadas y luego agua destilada, para trabajar con la dilución 1:2.5.
- Las lecturas de pH se harán a los siguientes tiempos, después de aplicada la enmienda: 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 6.0, 12.0, 24.0, 48.0, 72.0 horas, hasta obtener valores constantes.
- Anotar los datos y preparar cuadro de resultados.

VI. Resultados

- Con los datos obtenidos en la prueba de incubación se confeccionarán curvas para cada nivel de encalado (regresionadas), con los valores de pH en las ordenadas y tiempo de lectura en las abcisas.
- Asimismo, graficar las curvas de variación del pH en función de los niveles de encalado.

VII. Conclusiones

Redacte sus conclusiones en base al objetivo de la práctica.

VIII. Recomendaciones

Redacte sus recomendaciones en base a los resultados obtenidos.



Tercera Unidad



Extracción de metales pesados de suelos contaminados mediante lavado con aplicación de quelatos

Instrucciones

Leer la guía de práctica antes de ingresar al laboratorio y seguir los procedimientos propuestos. Cada práctica es calificada. Las prácticas se desarrollan en equipos de trabajo.

I. Objetivo

El estudiante será capaz de determinar la influencia del lavado de suelos contaminados con metales pesados con la aplicación de quelatos.

II. Fundamento teórico

Los suelos pueden ser contaminados con metales pesados debido a las actividades agrícola, industrial y militar. Debido a la toxicidad de los metales, pueden presentarse efectos adversos in situ sobre las plantas y los organismos del suelo, afectando la ecología del suelo y la producción agrícola (Selim e Iskandar, 1999). En Europa, metales como el cadmio, cobre, plomo, cromo, zinc y níquel comúnmente se encuentran en sitios contaminados (Flathman y Lanza, 1998). A diferencia de los compuestos orgánicos, los metales tóxicos no son degradables en el ambiente, y pueden persistir en los suelos por décadas y aún siglos (Lestan y otros, 2008). Por lo tanto hay una necesidad de desarrollar métodos de remediación económicos y efectivos adecuados para esta clase de contaminantes.

El lavado del suelo es una técnica *ex situ*, que se aplica a una amplia gama de contaminantes, requiere menos tiempo de remediación y es sencilla de controlar. Combina el empleo de agua con aditivos químicos y un sistema de decantación (Ortiz y otros, 2006).

Los quelatos cuando son aplicados al suelo complejan metales pesados y generan un compuesto coordinado metal-quelante, soluble en agua, evitando su reacción en el suelo. Uno de los quelatos más utilizados es el EDTA (ácido etilen diamino tetra-cético), debido a su fuerte habilidad quelatante de los metales presentes en el suelo (Sun y otros, 2009).

III. Equipos, materiales y reactivos

1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	Analítica de 3 ejes	1
2	Agitador eléctrico	Magnético	1
3	Centrífuga	De 3900 rpm	1
4	Estufa eléctrica	25°C	1

2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Suelo contaminado	Seco al aire	200 g
2	Papel Kraft	Pliego	6
3	Espátula tipo cuchara	De metal	6
4	Probeta	De 100 ml	6
5	Embudos de vidrio	Tallo corto	18
6	Papel filtro	Whatman N° 42	36
7	Matraces	250 ml	18
8	Tamiz	N° 10 (2 mm \)	6
9	Placas petri	De plástico o vidrio	18
10	Pizetas	De plástico	6

3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Agua	6 litros
2	EDTA ($C_{10}H_{12}K_2MgN_2O_8 \cdot 2H_2O$) (426.76 /mol)	Grado reactivo	200 mL
3	DTPA ($C_{14}H_{23}N_3O_{10}$) (393.34 g/mol)	Grado reactivo	200 mL

IV. Instrucciones

1. Ante de iniciar el experimento tamizar el suelo.
2. Utilizar guantes y mascarilla y evitar el contacto directo con el suelo contaminado.

V. Procedimientos

Primero

Aplicación de quelatos y lavado del suelo

- Pese 2 g de TFSA de suelo contaminado con metales pesados y colóquelo en un vaso de 100 mililitros, más 20 mL de tratamiento/g suelo, con la siguiente distribución de tratamientos:

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
1 (control)	2 g suelo + 40 mL agua	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento
2 (10^{-1} M EDTA)	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento
3 (10^{-2} M EDTA)	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento
4 (10^{-3} M EDTA)	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento
5 (10^{-4} M EDTA)	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento
6 (10^{-5} M EDTA)	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento	2 g suelo + 40 mL tratamiento

- Agitar la mezcla por 2 horas
- Centrifugar la muestra a 3900 rpm
- Filtrar el sobrenadante para medir el metal pesado

Segundo

Prueba de fitotoxicidad

- Transfiera el suelo que quedó de la prueba de lavado a una placa petri, donde previamente se ha colocado papel filtro humedecido.
- Coloque 10 semillas de trigo a cada tratamiento.
- Observe la germinación de las semillas al cabo de 8 días.

Realice los siguientes cálculos:

$$\text{Germinación relativa de la semilla (\%)} = \frac{\text{Número de semillas germinadas en la muestra}}{\text{Número de semillas germinadas en el control}} \times 100$$

$$\text{Longitud relativa de la raíz (\%)} = \frac{\text{Promedio de longitud de la raíz en la muestra}}{\text{Promedio de longitud de la raíz en el control}} \times 100$$

$$\text{Índice de germinación (\%)} = \frac{(\text{Porcentaje de germinación})(\text{Longitud relativa de la raíz, \%})}{100\%}$$

VI. Resultados

Registre los resultados en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Efecto de diversas concentraciones de quelatos en el lavado del suelo contaminado (mg Cd/kg suelo)

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
1 (control)			
2 (10 ⁻¹ M EDTA)			
3 (10 ⁻² M EDTA)			
4 (10 ⁻³ M EDTA)			
5 (10 ⁻⁴ M EDTA)			
6 (10 ⁻⁵ M EDTA)			

Tabla 2. Resultados de la prueba de fitotoxicidad en semillas de trigo

Tratamiento	Repeticiones		
	I	II	III
Germinación relativa de la semilla (%)			
1 control			
2 (10^{-1} M EDTA)			
3 (10^{-2} M EDTA)			
4 (10^{-3} M EDTA)			
5 (10^{-4} M EDTA)			
6 (10^{-5} M EDTA)			
Longitud relativa de la raíz (%)			
1 control			
2 (10^{-1} M EDTA)			
3 (10^{-2} M EDTA)			
4 (10^{-3} M EDTA)			
5 (10^{-4} M EDTA)			
6 (10^{-5} M EDTA)			
Índice de Germinación (%)			
1 control			
2 (10^{-1} M EDTA)			
3 (10^{-2} M EDTA)			
4 (10^{-3} M EDTA)			
5 (10^{-4} M EDTA)			
6 (10^{-5} M EDTA)			

VII. Conclusiones

1. Redacte sus conclusiones sobre el efecto de la tecnología de lavado de suelos con aplicación de quelatos, en la extracción de metales pesados de un suelo contaminado.

2. Redacte sus conclusiones del efecto de la tecnología de lavado de suelos con aplicación de quelatos, en la fitotoxicidad de plántulas de trigo.

VIII. Recomendaciones

Redacte sus recomendaciones en base a los resultados obtenidos.



Cuarta Unidad



Remediación de suelos salinos

Instrucciones

Leer la guía de práctica antes de ingresar al laboratorio y seguir los procedimientos propuestos. Cada práctica es calificada. Las prácticas se desarrollan en equipos de trabajo.

I. Objetivo

El estudiante será capaz de caracterizar y remediar un suelo salino con técnicas químicas y biológicas.

II. Fundamento teórico

Los suelos salinos están caracterizados por tener una conductividad eléctrica (CE) mayor de 4 dS/cm a 25 °C, y un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) menor de 15. El pH del suelo es normalmente menor de 8.5. Debido a la presencia de exceso de sales y baja cantidad de iones sodio en posición de intercambio, los suelos usualmente están en estado floculado, y su permeabilidad es considerada igual o mayor que los suelos sódicos o salino-sódicos.

La acumulación de sales solubles en los suelos inhibe severamente el crecimiento de la planta. Induce a la plasmólisis, por el cual el agua se mueve desde la planta hacia la solución suelo. La mayoría de los científicos solo toman en cuenta el peligro del efecto osmótico a los cultivos por la salinización (Tan, 2011). Sin embargo, según Stewart y Howell (2003), los siguientes efectos de iones especiales pueden también ser muy perjudiciales para el crecimiento de los cultivos. Los iones cloro y sodio son absorbidos por la planta y se mueven con el flujo transpiratorio desde las raíces hacia los tejidos de las hojas donde se acumulan. Stewart y Howell indican que

las hojas viejas exhiben mayor transpiración que las hojas jóvenes; por lo tanto, los ápices y márgenes, en particular, de las hojas viejas desarrollarán primero lesiones debido a la acumulación de los iones mencionados.

La fase líquida del suelo, así como el agua que llega al suelo, está caracterizada por un contenido específico de sal. La distribución de los iones entre las fases sólida y líquida del suelo está gobernada por las propiedades de intercambio de la fase sólida y controlada por el proceso de intercambio iónico. Como por ejemplo, el examen químico de soluciones extractadas de suelos de áreas climas áridos y semiáridos revela la presencia de sodio, calcio, magnesio, potasio, cloruro, sulfato, bicarbonato y carbonato como principales componentes iónicos. Bajo especiales condiciones, principalmente como resultado de la actividad humana, la presencia de sales en el suelo, reflejado por la cantidad y su tasa iónica pueden perjudicar al ambiente. Entre los aniones con potencial contaminante, podrían considerarse al azufre y cloro, así como al magnesio y sodio, entre los cationes (Yaron y otros, 1996).

La cantidad de agua necesaria para remover el exceso de sales de los suelos salinos, denominado requerimiento de lavado (RL), está determinado por las características del cultivo a desarrollar, el agua de riego, y el suelo. Una aproximación de los requerimientos de lavado para condiciones de salinidad relativamente uniformes está dada por la relación de la salinidad del agua de riego (expresado como CE_{iw}) a la máxima salinidad aceptable de la solución suelo para el cultivo a desarrollar (expresado como CE_{dw} , la conductividad del agua de drenaje). $LR = (CE_{iw}/CE_{dw})$. Donde LR indica el agua que debería ser agregada en exceso para cubrir las necesidades del suelo y cubrir las necesidades de evapotranspiración (Weil y Brady, 2017).



III. Equipos, materiales y reactivos

1. Equipos

Ítem	Equipo	Característica	Cantidad
1	Balanza	De precisión de 3 ejes	6
2	Conductómetro	De suelos	6

2. Materiales

Ítem	Material	Característica	Cantidad
1	Suelo salino	Seco al aire	400 g
2	Estiércol de lombriz	100 g	200 g
3	Papel Kraft	Pliego	6
4	Espátula tipo cuchara	De metal	6
5	Probeta	De 100 ml	6
6	Pipeta graduada	10 ml	6
7	Embudos de vidrio	Tallo corto	24
8	Papel filtro	Whatman N.º 42	72
9	Matraces	250 ml	24
10	Tamiz	N.º 10 (2 mm \)	6

3. Reactivos

Ítem	Reactivo	Característica	Cantidad
1	Agua destilada	Agua	6 litros
2	NaCl	Calidad reactivo	100 g

IV. Instrucciones

1. Ante de iniciar el experimento tamizar el suelo y el estiércol de lombriz.
2. Utilizar guantes y mascarilla y evitar el contacto directo con el suelo contaminado.

V. Procedimientos

- a) Pesar 50 g de suelo y colocarlo sobre el papel kraft.
- b) Repetir el paso anterior 4 veces, lo que constituye 4 tratamientos de suelo.
- c) Agregar a cada suelo: (i) 4 % de NaCl, (ii) 20 % de estiércol de lombriz, (iii) 4 % NaCl + 20 % estiércol de lombriz, (iv) solo suelo.
- d) Mezclar uniformemente utilizando la espátula.
- e) Utilizar 10 g de suelo de cada mezcla y medir CE.
- f) Poner un papel filtro en cada uno de los cuatro embudos colocados en un matraz de Erlenmeyer.
- g) Humedecerlos con agua destilada.
- h) Pesar 10 g de la mezcla de suelo y colocarlos en cada uno de los embudos ya preparados.
- i) Adicionar 10, 20, 30 y 40 ml de agua destilada a cada embudo.
- j) Filtrar y desechar el filtrado.
- k) Una vez que ha cesado el filtrado, agregar nuevamente 10 ml de agua destilada a cada embudo.
- l) Determinar la CE en el filtrado.

Determinar la eficiencia de lavado, usando la siguiente fórmula:

$$EL = \frac{CEi - CEf}{CEi} \times 100$$

Donde:

EL = Eficiencia de lavado

CEi = conductividad eléctrica inicial del suelo

CEf = conductividad eléctrica final del filtrado

VI. Resultados

Registre los resultados en el siguiente cuadro:

Lavado de sales en un suelo salino.

Tratamiento (mL de agua)	CEi	CEf	EL
10			
20			
30			
40			

VII. Conclusiones

1. Redacte sus conclusiones en base al objetivo de la práctica.

VIII. Recomendaciones

Redacte sus recomendaciones en base a los resultados obtenidos.



Referencias

- Bailey, E. (1996). Soil Pollution: processes and Dynamics. *The Journal of Agricultural Science*, 128(4), 499-501. [10.1017/S002185969723443X](https://doi.org/10.1017/S002185969723443X)
- Barth, D.S., Mason B.J., Starks T.H. y Brown K.W. (1989). *Soil sampling quality assurance user's guide* (2.nd ed.). U.S. Environmental Protection Agency.
- Espinoza J., y E. Molina. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. International Plant Nutrition Institute.
- Flathman, P.E. & Lanza, G.R. (1998) Phytoremediation: current views on an emerging green technology. *Journal of soil contamination* 7, 415 - 432. <https://doi.org/10.1080/10588339891334438>
- Ford, P.J., Turina, P.J. y Seely D.E. (1984). *Characterization of Hazard waste sites: A methods Manual* (Vol. 2.). Environmental Monitoring Systems Laboratory.
- Giannis A., A. Nikolaou, D. Pentari y E. Gidarakos. (2009) Chelating agent-assisted electrokinetic removal of cadmium, lead and copper from contaminated soils. *Environmental Pollution*, 157(12), 3379-3386. [10.1016/j.envpol.2009.06.030](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.06.030)
- Havlin, J.L., Tisdale, S.T., Nelson, W.L. y Beaton, J.D. (2014). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (8.th ed.). Pearson.
- Leštan, D., Luo, C.L. y Li, X.D. (2008). The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: a review. *Environmental Pollution* 153(1), 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.11.015>
-
-

- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para muestreo de suelos*. Dirección General de Calidad Ambiental. <https://bit.ly/3txvcwO>
- Mirsal, I.A. (2010). *Soil Pollution: Origin, Monitoring & Remediation* (2.nd ed.). Springer.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M. y Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Citme. <https://bit.ly/3GF6LQS>
- Selim, H.M. y Iskandar, I.K. (Eds.). (1999). *Fate and transport of heavy metal in the vadose zone*. CRC Press.
- Seoáñez, M. (2001). *Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión*. Mundi prensa libros.
- Stewart, B.A. y Howell, T.A. (2003). *Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker.
- Sun, B., Zhao, F.J., Lombi, E. y McGrath, S.P. (2001). Leaching of heavy metals from contaminated soil using EDTA. *Environmental Pollution* 113(2), 111-120. [10.1016/s0269-7491\(00\)00176-7](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00176-7)
- Tan, K.H. (2011). *Principles of Soil Chemistry* (2.th ed.). CRC Press.
- Weil, R.R. y Brady, N.C. (2016). *The nature and properties of soils* (15.th ed.). Pearson.
- Young, S.D. (2013). Chemistry of heavy metals and metalloids in soils. *En B. J. Alloway (Ed.). Heavy Metals in Soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (pp. 51-95). Springer.



