
Manual de Prácticas de Laboratorio de Tratamiento y Gestión del Suelo

2



Erika Arbeláez Silva
Erika Suárez Agudelo
Claudete Gindri Ramos
Andrea Moreno Ríos

libro digital



UNIVERSIDAD
DE LA COSTA
1970

VIGILADA MINEDUCACIÓN

MANUAL DE PRÁCTICAS DE
LABORATORIO DE TRATAMIENTO
Y GESTIÓN DEL SUELO II

Manual de prácticas de laboratorio de tratamiento y gestión de suelos II/Erika Esperanza Arbeláez Silva, Erika Alejandra Suárez Agudelo, Claudete Gindri Ramos, Andrea Liliana Moreno Ríos. – Barranquilla, 2021.

ISBN: 978-958-56772-7-2

51 paginas

1) Suelo 2) Laboratorio 3) Gestión del suelo 4) Análisis de suelos

624.1514 M294

MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE TRATAMIENTO Y GESTIÓN DEL SUELO II

Erika Esperanza Arbeláez Silva

Erika Alejandra Suárez Agudelo

Claudete Gindri Ramos

Andrea Liliana Moreno Ríos



2021



Manual de Prácticas de Laboratorio de Tratamiento y Gestión del Suelo II

Erika Esperanza Arbeláez Silva
Erika Alejandra Suárez Agudelo
Claudete Gindri Ramos
Andrea Liliana Moreno Ríos

ISBN (Digital): 978-958-56772-7-2

Segunda Edición
Corporación
Universidad de la Costa, CUC

Diseño, diagramación
y corrección de estilo
Editorial Universitaria de la Costa,
S.A.S.

Teléfono: (575) 336 2222
educosta@cuc.edu.co

Alfonso Romero Conrado
Director
Editorial Universitaria de la Costa S.A.S.

Fotografía portada: Pixabay

Hecho el depósito que exige la ley.

CONTENIDO

<u>Introducción</u>	8
<u>Presentación</u>	9
<u>Prácticas de Laboratorio</u>	10
<u>Práctica 1:</u>	
<u>Determinación de la acidez intercambiable del suelo</u>	11
<u>Práctica 2.</u>	
<u>Determinación de la acidez potencial del suelo</u>	15
<u>Práctica 3.</u>	
<u>Determinación de hierro en el suelo</u>	19
<u>Práctica 4.</u>	
<u>Determinación de carbonatos en el suelo</u>	24
<u>Práctica 5.</u>	
<u>Extracción y determinación del Azufre en el Suelo</u>	26
<u>Práctica 6.</u>	
<u>Determinación de boro en el suelo</u>	30

<u>Práctica 7.</u>	
<u>Determinación de carbono orgánico</u>	<u>35</u>
<u>Práctica 8.</u>	
<u>Determinación de fósforo</u>	
<u>disponible en el suelo</u>	<u>40</u>
<u>Referencias</u>	<u>46</u>
<u>Modelo de informe</u>	<u>49</u>

INTRODUCCIÓN

Este manual de laboratorio, en su segunda edición, reúne métodos clásicos utilizados en la caracterización química de suelos, incluidos los métodos nacionales e internacionales utilizados en Colombia. Se trata de una guía imprescindible para el conocimiento práctico de los estudiantes de la asignatura de Tratamiento y Gestión del Suelo de la Universidad de la Costa.

La asignatura de Tratamiento y Gestión del Suelo para estudiantes de Ingeniería Ambiental considera los componentes teóricos y prácticos. Los componentes prácticos incluyen ocho experimentos de laboratorio, cuyas temáticas permitirán a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos en las clases teóricas.

Es recomendable que los estudiantes lean atentamente las instrucciones de cada práctica de laboratorio antes de realizar un experimento, de tal forma que al momento de realizar los experimentos tengan claros los conceptos y metodologías a implementar. Así mismo, es importante que durante el desarrollo de cada práctica tengan las precauciones necesarias para la preparación de soluciones, manipulación de reactivos y un buen uso de los materiales y equipos necesarios.

PRESENTACIÓN

Este manual pretende brindar a los estudiantes de la Universidad de la Costa vinculados al programa de Ingeniería Ambiental los medios para la obtención de datos analíticos, imprescindibles para la identificación, clasificación e interpretación de los resultados necesarios para evaluar la calidad del suelo, planificar su uso y gestión sostenible.

La clase práctica es un recurso metodológico importante que facilita el proceso de enseñanza-aprendizaje. A través de la experimentación, combina la teoría con la práctica y posibilita el desarrollo de la investigación y la problematización en el aula, despertando la curiosidad e interés del estudiante. Transforma al estudiante en un sujeto de aprendizaje, lo que le permite desarrollar habilidades y competencias específicas.

La experimentación permite a los estudiantes pensar sobre el mundo de manera científica, ampliando su aprendizaje sobre la naturaleza y fomentando habilidades como la observación, recopilación y organización de datos, así como la reflexión y la discusión. Así, es posible producir conocimiento a partir de acciones y no solo a través de clases magistrales, convirtiendo al estudiante en sujeto de aprendizaje. Lo anterior, permitirá complementar el proceso pedagógico de adquisición de conocimientos de la asignatura de Tratamiento y Gestión del Suelo.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ INTERCAMBIABLE DEL SUELO

OBJETIVO

Determinar la acidez intercambiable del suelo utilizando solución de cloruro de potasio (KCl) 1 mol l⁻¹ para estimar los nutrientes disponibles en el suelo.

PRINCIPIO

La acidez intercambiable se refiere a los iones de hidrógeno libres (H⁺) presentes en el suelo. La cantidad de nutrientes disponibles para las plantas está directamente relacionada con la acidez del suelo. El pH óptimo para la mayoría de las plantas varía entre 6.5 y 7.0 (Ibarra, Ruiz, González, Flores y Díaz, 2009). En suelos con pH ≤ 4,5 la disponibilidad del aluminio, por ejemplo, que es tóxico para las plantas, puede ser facilitada (Ramos et al., 2017), lo que torna relevante la determinación de la acidez intercambiable del suelo. La acidez intercambiable ocurre mediante la hidrólisis del aluminio (Al) en solución y por el ion hidrógeno intercambiable. Este último tiene valor muy pequeño al pH que normalmente se encuentra en el suelo (Coulter, 1969); por tanto, lo que se determina es el aluminio intercambiable. Chernov (1947) evidenció que una solución de cloruro de potasio (KCl) 1 mol l⁻¹ extrae solo Al³⁺, con la excepción de suelos orgánicos o suelos con pH muy bajo (< 4.0). Nye y Greenland (1961) estudiaron los intercambios de los iones K-Al, e indicaron que, a altas concentraciones, el

cloruro de potasio es un desplazador eficaz del aluminio intercambiable. A altas concentraciones, el potasio desplaza principalmente los iones de Al del suelo a la solución, que al hidrolizarse liberan iones de H^+ que pueden titularse con una base [hidróxido de sodio (NaOH)].

MATERIALES

- (1) Agitador mecánico.
- (1) Balanza analítica.
- (1) Balón volumétrico de 250 ml.
- (1) Balón volumétrico de 100 ml.
- (2) Erlenmeyer de 250 ml.
- (2) Beaker de 250 ml.
- (2) Varillas de vidrio.
- (2) Embudos.
- (2) Papel filtro.
- (1) Bureta.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Solución de cloruro de potasio (KCl) 1 mol l⁻¹*: Pesar 18.64 g de cloruro de potasio y diluir en 100 ml de agua desionizada en un beaker de 250 ml, transferir al balón volumétrico de 250 ml y aforar con agua desionizada.
2. *Solución estándar de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 mol l⁻¹*: Pesar 1 g de hidróxido de sodio y diluir en 100 ml de agua desionizada en 1 beaker de 250 ml, transferir al balón volumétrico de 250 ml y aforar con agua desionizada.

3. *Solución alcohólica de fenolftaleína al 3%:* Pesar 3 g de fenolftaleína y diluir en 50 ml de alcohol etílico, transferir al balón volumétrico de 100 ml y aforar con alcohol etílico.

Determinación de la acidez

1. Pesar 5 g de tierra fina, tamizada previamente a 2 mm y secada al aire libre.
2. Agregar 100 ml de cloruro de potasio 1 mol l⁻¹ al erlenmeyer de 250 ml, agitar durante 10 min y reposar por 16 h.
3. Filtrar, agregar 5 gotas de fenolftaleína al 3% y titular con la solución de hidróxido de sodio 0.1 mol l⁻¹ hasta obtener un color rosado persistente. Hacer una prueba control con agua desionizada.
4. Calcular la acidez intercambiable.

CÁLCULOS

Acidez intercambiable (ecuación 1).

$$\text{meq} / 100\text{g} = (V_2 - V_1) \times 2 \quad (1)$$

Dónde:

V₁: ml de solución 0.1 mol l⁻¹ de hidróxido de sodio usados en la prueba control.

V₂: ml de solución de hidróxido de sodio 0.1 mol l⁻¹ usados en la titulación del extracto.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué es la acidez intercambiable del suelo?
2. ¿Cuál es la influencia de la acidez intercambiable en la fertilidad y el transporte de contaminantes en el suelo?
3. ¿Qué procedimiento sería adecuado para corregir la acidez intercambiable del suelo?

DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ POTENCIAL DEL SUELO

OBJETIVO

Aplicar técnicas volumétricas para la determinación de la acidez potencial del suelo.

PRINCIPIO

El suelo ácido, es decir con bajo pH, puede contener altas concentraciones de elementos como el aluminio, hierro y manganeso resultando tóxicos para la gran mayoría de las plantas (Ramos et al., 2020). La acidez potencial se caracteriza por la suma de la acidez intercambiable (iones H^+ y Al^{3+} que son retenidos en la superficie de los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas) con la acidez no intercambiable, que corresponde a esa acidez neutralizada. La acidez potencial se mide por la cantidad de base fuerte necesaria para aumentar el pH a 7.0. La acidez potencial indica la acidez total del suelo entre el valor de pH inicial del suelo y el final (pH = 7.0). Jones (1915) parece haber sido el pionero en determinar la acidez potencial mediante la digestión con acetato de calcio.

MATERIALES

- (1) Agitador mecánico.
- (1) Balanza analítica.
- (2) Beaker de 250 ml.
- (2) Balones volumétricos de 250 ml y de 100 ml.
- (3) Varillas de vidrio.
- (3) Espátulas.
- (5) g de algodón.
- (2) Embudos.
- (2) Papel filtro.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Solución de acetato de calcio* ($C_4H_6CaO_4$) 1 mol l⁻¹ a pH 7.0: Pesar 22.03 g de acetato de calcio y diluir en 100 ml de agua desionizada en 1 beaker de 250 ml, transferir al balón volumétrico de 250 ml y aforar a 200 ml. Filtrar con algodón y ajustar el pH entre 7.0 y 7.1 con 2 mol l⁻¹ de ácido acético (CH_3COOH) o 1 mol l⁻¹ de solución de hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$], y aforar con agua desionizada.
2. *Solución de ácido acético* 2 mol l⁻¹: Diluir 28.5 ml de ácido acético en 150 ml de agua desionizada en un balón volumétrico de 250 ml y aforar con agua desionizada.
3. *Solución de hidróxido de calcio* 1 mol l⁻¹: Diluir 18.5 g de hidróxido de calcio en 100 ml de agua desionizada en un beaker de 250 ml, transferir al balón volumétrico de 250 ml y aforar con agua desionizada.

4. *Solución alcohólica de fenolftaleína al 3%:* Diluir 3 g de fenolftaleína en 50 ml de alcohol etílico, transferir al balón volumétrico de 100 ml y aforar con alcohol etílico.
5. *Solución 0.1 mol l⁻¹ de hidróxido de sodio:* Diluir 1 g de hidróxido de sodio en 100 ml de agua desionizada en un recipiente de precipitado de 250 ml, transferir al balón volumétrico de 250 ml y aforar con agua desionizada.

Digestión con solución tamponada y titulación del extracto

1. Pesar 5 g de tierra fina, tamizada previamente a 2 mm y secada al aire libre.
2. En un erlenmeyer de 250 ml, agregar 100 ml de solución de acetato de calcio 1 mol l⁻¹ a pH 7.0, agitar mecánicamente por 10 min y decantar por 16 h.
3. Filtrar, agregar 5 gotas de fenolftaleína al 3% y aforar con solución 0.1 mol l⁻¹ de hidróxido de sodio hasta obtener un color rosado persistente. Hacer una prueba control con agua desionizada.

CÁLCULOS

Acidez potencial (ecuación 2).

$$(H + Al) \text{ en meq / 100g} = (V_2 - V_1) \times 2 \quad (2)$$

Donde:

V₁: ml de solución 0.1 mol l⁻¹ de hidróxido de sodio gastados en la prueba en blanco;

V₂: ml de solución 0.1 mol l⁻¹ de hidróxido de sodio gastados en la titulación del extracto.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la diferencia entre la acidez intercambiable y la acidez potencial?
2. ¿Cuáles son las consecuencias de la acidez del suelo para las plantas?

DETERMINACIÓN DE HIERRO EN EL SUELO

OBJETIVO

Determinar la concentración del Fe^{+2} y Fe^{+3} en el suelo, para evaluar su grado de disponibilidad a las plantas, mediante digestión con ácido clorhídrico y posterior cuantificación por colorimetría.

PRINCIPIO

El hierro es un micronutriente esencial a las plantas (Harley & Gilkes, 2000) que está presente en el suelo en dos formas iónicas (Fe^{+2} y Fe^{+3}). El método de digestión con oxalato ácido de amonio es la técnica ampliamente utilizada para cuantificar el Fe^{+3} en suelos. No obstante, esta técnica puede impulsar la disolución de los cristales que no son biodisponibles para los microorganismos reductores de hierro. En esta guía utilizaremos un método de digestión con hidroxilamina hidrociorada la cual es bastante adecuado para la extracción del Fe^{+3} (Phillips & Lovley, 1987).

MATERIALES

- (3) Balones volumétricos de 100 ml.
- (3) Probetas de 100 ml.
- (5) Tubos de ensayo de vidrio de 20 ml con tapa de rosca.
- Pipetas graduadas de 1 ml y 10 ml.
- Beakers de 25 ml, 50 ml y 100 ml.
- (1) Agitador recíproco
- (5) Tubos de centrífuga de 15 ml.
- (1) Centrífuga.
- (1) Espectrofotómetro UV-visible.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Ácido clorhídrico* (HCl) 0.5 mol l⁻¹: En un balón volumétrico de 100 ml con 10 ml de agua desionizada, adicionar suavemente 4.18 ml de HCl y aforar con agua desionizada.
2. *Hidroxilamina hidrociorada* (NH₂OH·HCl) 0.25 mol l⁻¹ en HCl 0.25 mol l⁻¹. Agregar 1.73 g de hidroxilamina en un balón volumétrico de 100 ml, diluir con 10 ml de una solución de HCl 0.5 mol l⁻¹ y aforar.
3. *Etanol al 10 %*: Diluir 10 ml de etanol 98% en 90 ml de agua desionizada.
4. *O-fenantrolina* (C₁₂H₈N₂·H₂O) 0.25 %: Pesar 0.25 g de O-fenantrolina y aforar a 100 ml con la solución de etanol al 10%.
5. *Solución buffer de acetato de sodio* (C₂H₃O₂·Na) al 10%: Pesar 10 g de acetato de sodio y diluir en 100 ml de agua desionizada. Ajustar el pH 4 con ácido acético.

6. *Solución estándar de sulfato ferroso amoniacal* (50 ppm de Fe). Pesar 0.3512 g de sulfato ferroso amoniacal $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ y transferir al balón volumétrico de 1 L, diluir y aforar con solución de HCl 0.5 mol l⁻¹.

Digestión del hierro

1. Pesar 0.1 g de suelo húmedo en un tubo de centrífuga de 15 ml y agregar 5 ml de solución de HCl 0.5 mol l⁻¹.
2. Agitar por 1 h en agitador recíproco.
3. Centrifugar por 10 min a 6000 rpm.

Cuantificación del hierro

1. **Fe⁺²**: Agregar 1 ml de solución de O-fenantrolina y 1 ml de solución buffer en 0.2 ml del sobrenadante, aforar a 10 ml con agua desionizada y agitar en agitador recíproco. Reposar durante 15-20 min, desarrollar el color y leer la absorbancia a 510 nm.
2. **Fe total**: Agregar 1 ml de solución de hidroxilamina en 0.2 ml del sobrenadante y aguardar 1 h. Agregar 1 ml de solución de O-fenantrolina, 1 ml de solución buffer, aforar a 10 ml con agua desionizada y agitar en agitador recíproco. Reposar por 15-20 min para desarrollar el color y leer absorbancia a 510 nm.
3. **Curva estándar**: Utilizar los datos de la **Tabla 1** para preparar una curva estándar para la determinación de sulfatos con la solución estándar de sulfato ferroso amoniacal.

TABLA 1.
Preparación de la curva estándar.

Contenido de Fe (mg l ⁻¹)	Solución estándar de sulfato (ml)	Agua desionizada (ml)
0	0	1
5	0.1	0.9
10	0.2	0.8
20	0.4	0.6
30	0.6	0.4
40	0.8	0.2
50	1	0

Fuente: Elaboración propia.

4. Agregar 1 ml de solución de hidroxilamina hidrociorada y aguardar 1 h.
5. Agregar 1 ml de solución de 0-fenantrolina, 1 ml de solución buffer, aforar a 10 ml con agua desionizada y agitar en agitador recíproco.
6. Reposar hasta desarrollar el color (15 a 20 min) y leer la absorbancia a 510 nm.

CÁLCULOS

1. Contenido de Fe²⁺ y Fe total (ecuación 3):

$$CE = ((Abs - b) / m) \times (FD) \quad (3)$$

Donde:

CE: Contenido de hierro en el extracto (ppm).

b : Ordenada al origen.

m : Pendiente.

FD: Factor de dilución.

2. Contenido final de Fe⁺² y Fe total (ecuación 4):

$$CS (\mu\text{g g}^{-1} \text{ de suelo seco}) = (CE \times V)/(P \times FH) \quad (4)$$

Donde:

CS: Contenido del Fe en el suelo.

V: Volumen de solución extractora (5 ml).

P: Peso de suelo húmedo (0.1 g).

FH: Factor de corrección de humedad [1-(%humedad/100)].

3. El contenido de Fe^{+3} se calcula con la siguiente ecuación (5):

$$\text{Fe}^{+3} = \text{Fe total} - \text{Fe}^{+2} \quad (5)$$

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son los efectos causados a las plantas debido a altos contenidos de hierro disponible en el suelo?
2. ¿Cuáles son los efectos causados a las plantas cultivadas en suelos con bajos niveles de hierro?

DETERMINACION DE CARBONATOS EN EL SUELO

OBJETIVO

Verificar la existencia de carbonatos en el suelo para estimar si el suelo es susceptible a la acidez usando el ácido clorhídrico (HCl) concentrado.

PRINCIPIO

La calcita es la forma más común de carbonatos de calcio en el suelo y funciona como un correctivo de la acidez del suelo. El ácido cuando es adicionado al suelo genera efervescencia debido a la liberación de CO_2 , indicando la ocurrencia de carbonatos (McKean, 1993).

MATERIALES

- (1) Balanza analítica.
- (1) Vidrio reloj.
- (1) Espátula.

- (1) Pipeta de Pasteur.
- (10) ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl al 36%).

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 5 g de suelo seco en vidrio reloj y agregar 10 gotas del HCl concentrado.
2. Si hay efervescencia el suelo es calcáreo.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la influencia del carbonato de calcio en las propiedades químicas del suelo?
2. ¿Cuál es la diferencia entre suelos sódicos y cálcicos?

EXTRACCIÓN Y DETERMINACION DEL AZUFRE EN EL SUELO

OBJETIVO

Cuantificar la concentración de azufre disponible en el suelo mediante un método turbidimético para estimar la fertilidad del suelo.

PRINCIPIO

Las plantas absorben el azufre (S) del suelo en la forma de sulfato (SO_4). La cuantificación del sulfato permite estimar el contenido de azufre disponible en el suelo. Hay varias metodologías para extraer el sulfato del suelo. De acuerdo con **Probert (1976)** los mejores métodos emplean una solución de fósforo en la forma de fosfato de calcio [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$]. Esta solución extrae los sulfatos solubles y adsorbidos en el suelo, y está disponible para la planta. Se sugiere el uso de fosfato de calcio porque el calcio favorece la floculación de los coloides del suelo. Para cuantificar el sulfato extraído la turbidimetría es ampliamente utilizada. La turbidimetría es un método para medir la reducción de la transmisión de luz en un medio provocada por la formación de partículas. Se determina gracias a un sistema óptico que mide la absorbancia de un haz de luz que atraviesa la suspensión. Dicha absorbancia será mayor o menor dependiendo de la concentración de la muestra analizada y el tamaño de partícula. El método se basa en la baja solubilidad de sulfato de bario. Para empezar a formar

los cristales de sulfato de bario se debe añadir cristales de cloruro de bario a la solución filtrada (Norma Técnica Colombiana-NTC 5402, 2006). La gelatina es utilizada para suspender el precipitado, lo cual permite medir el sulfato por turbidimetría.

MATERIALES

- (1) Espectrofotómetro UV-visible.
- (1) Balanza analítica.
- (1) Agitador recíproco.
- (1) Equipo para filtración al vacío.
- (1) Embudo Büchner.
- (1) Vidrio reloj.
- (1) Bureta de 50 ml.
- (1) Pipeta volumétrica de 25 ml.
- (3) Balones volumétricos de 1 L.
- (1) Probeta de 25 ml.
- (1) Frasco color ámbar de 1 L.
- (2) Papeles filtro.
- (1) Agitador de vidrio.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Solución de fosfato monobásico de calcio* 0.08 mol l⁻¹ [Ca(H₂PO₄)₂H₂O]: Pesar 2.02 g y diluir en 1 L de agua. Se necesita 50 ml por cada muestra.

2. *Solución de sulfato de potasio* (KSO_4): Pesar 0.2270 g de sulfato de potasio y diluir en 200 ml de agua. Agregar 99.34 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y diluir a 500 ml con agua desionizada.
3. *Gelatina certificada*: calentar 200 ml de agua desionizada a una temperatura entre 60°C-70°C y añadir 0.15 g de gelatina. Enfriar la solución, agitar suavemente, refrigerar durante 4 h, agitar por 2 h. Agregar 25 g de cloruro de bario (BaCl_2) y agitar hasta disolución completa. Refrigerar durante 16 h y agitar por 1 h.
4. *Solución estándar*: Preparar una solución de 1000 mg S l⁻¹ a partir de sulfato de potasio (KSO_4). Pesar 5.4354 g de sulfato de potasio y diluir en 1 L de agua desionizada. Retirar una alícuota de 20 ml de esta solución estándar y aforar a 250 ml con agua desionizada. Esta solución contiene 80 mg S l⁻¹.
5. *Soluciones estándares de trabajo*: A partir de la solución estándar preparar los estándares de trabajo: Retirar alícuotas de 0 ml, 1 ml, 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml, 14 ml y 16 ml y llevar a 50 ml con la solución extractora de fosfato de calcio (0.08 mol l⁻¹). Estos estándares contienen 0, 1.6, 3.2, 6.4, 9.6, 12.8, 22.4 y 25.6 mg S l⁻¹.

Digestión del azufre del suelo

1. Pesar 10 g de suelo seco en un erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 50 ml de fosfato de calcio (0.08 mol l⁻¹) y agitar por 30 min.
3. Usar papel filtro doble para filtrar la suspensión por gravedad en un tubo de ensayo.
4. Retirar una alícuota de 10 ml de las muestras y de los estándares de trabajo.
5. Agregar 2 ml de la solución de sulfato de potasio.
6. Agregar 4 ml de gelatina y agitar suavemente.
7. Reposar por 45 min.
8. Calibrar el espectrofotómetro con los estándares a 420 nm.
9. Agitar y leer las muestras.
10. Calcular el contenido de azufre.

CÁLCULOS

El azufre disponible se calcula mediante la siguiente fórmula (ecuación 6):

$$mg \text{ de S/kg de suelo (ppm)} = \frac{L_{\text{equipo}} \times V_{\text{extractante}} \times F_d}{V_{\text{alícuota}} \times (P_{\text{muestra}} (100 + P_w))} \quad (6)$$

Donde:

- L_{equipo} : Resultado de la lectura en $mg \text{ l}^{-1}$ (ppm).
- $V_{\text{extractante}}$: Volumen del extractante en ml.
- F_d : Factor de dilución (si no hay diluciones se considera el factor 1).
- $V_{\text{alícuota}}$: Volumen del extracto en ml.
- P_{muestra} : Peso del suelo en g.
- P_w : Humedad del suelo a 105°C .

CUESTIONARIO

1. ¿Por qué es importante el análisis de azufre disponible en el suelo?
2. ¿Cuáles son las formas de azufre disponible en el suelo?
3. ¿Cuáles son los métodos analíticos existente para de la determinación de azufre?

DETERMINACIÓN DE BORO EN EL SUELO

OBJETIVO

Determinar el contenido de boro en el suelo para evaluación de la fertilidad a través de un método de cuantificación por colorimetría.

PRINCIPIO

Muchas enfermedades en las plantas se deben a la carencia o exceso de boro, razón por la cual es de gran importancia estimar el boro disponible en el suelo. La metodología más utilizada para la determinación del boro en el suelo es la extracción con agua caliente (Berger & Truog, 1939). La fracción del boro adsorbida en el suelo es disuelta en el agua caliente. En esta guía se adaptó el método usado por Mahler, Naylor y Fredrickson (1984) que consiste en agregar agua al suelo en tubos plásticos cerrados y poner en baño María con agua hirviendo. Este procedimiento impide la pérdida de agua de la muestra y permite una fuente de calor uniforme. La lectura del boro en el extracto se realiza por colorimetría mediante el método de azometina-H (Shanina, Gelman & Mikhailovskaya, 1967). Este método es sencillo, rápido y no tiene muchas interferencias. Para eliminar las interferencias se hace necesario agregar sal disódica de Ethylenediamine Tetra Acético Ácido (EDTA) y agregar la solución buffer de acetato de amonio para obtener el pH del extracto entre 4.9 y 5.1. En este rango

de pH se forma un complejo amarillo debido a la azometina y el boro en solución (NTC 5404, 2011).

MATERIALES

- (1) Espectrofotómetro UV-visible.
- (1) Agitador recíproco.
- (10) Tubos plásticos de 50 ml con tapa rosca.
- (20) Papeles filtro.
- (1) Baño María.
- (10) Beaker de 250 ml.
- (4) Espátulas.
- (5) Varillas de vidrio.
- (3) Balones volumétricos de 100 ml.
- (2) Balones volumétricos de 1 L.
- (2) Pipetas graduadas de 5 ml.
- (1) Pipeta graduada de 2 ml.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Solución estándar de 100 mg B l⁻¹*: Pesar 0.571 g de H₃BO₃ (ácido bórico), diluir en agua desionizada y aforar a 1 L.
2. *Reactivo de color*: Solución de azometina-H C₁₇H₁₂NNaO₈S₂: Agregar al balón volumétrico de 100 ml, 0.9 g de azometina-H, 2 g de ácido ascórbico y aforar con agua desionizada; si no diluir, calentar suavemente en baño de María. La solución deberá prepararse el día que se va a usar.

3. *Solución buffer*: Pesar 100 g de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (acetato de amonio) y diluir en 160 ml de agua desionizada, agregar 50 ml de ácido acético (CH_3COOH) y 2.68 g de EDTA, agregar 2.4 ml de ácido tioglicólico ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2\text{S}$), mezclar todo y reposar por 12 h o 16 h. El pH final de esta solución debe ser de 5.6 en caso contrario ajustarlo. Mantener refrigerado y utilizarlo en un tiempo menor a 30 días.
4. *Soluciones estándares de trabajo*: A partir de la solución estándar, preparar una solución de 10 mg B l⁻¹ (diluir 10 ml de la solución estándar en 100 ml de agua desionizada). Retirar alícuotas 0 ml, 2 ml, 4 ml, 6 ml, 8 ml y 10 ml de la solución de 10 mg de B l⁻¹ y diluir a 100 ml con agua desionizada.

Cuantificación del boro

Para el desarrollo de esta práctica debe emplearse muestras de suelo previamente secadas a una temperatura no mayor de 40°C y tamizadas a 2 mm de abertura.

1. Pesar 10 g de suelo en tubos plásticos de 50 ml con tapa rosca.
2. Agregar 20 ml de agua desionizada y tapar los tubos.
3. Colocar los tubos en baño María a 100°C durante 15 min, enfriar y filtrar.
4. Retirar alícuotas de 2 ml de los extractos y de los estándares de trabajo en tubos plásticos.
5. Agregar 4 ml de la solución buffer y 2 ml de reactivo de color.
6. Agitar por 15 min y reposar por 45 min.
7. Calibrar el espectrofotómetro con los estándares a 430 nm.
8. Leer las muestras y calcular el contenido de boro.

CÁLCULOS

Después de las mediciones procedemos a realizar los cálculos para determinar el contenido de boro disponible (ecuación 7).

$$mg \text{ de boro/kg de suelo}(ppm) = \frac{L_{\text{equipo}} \times V_{\text{extractante}} \times F_d}{V_{\text{alícuota}} \times (P_{\text{muestra}} (100 + P_w))} \quad (7)$$

Donde:

- L_{equipo} : Lectura del equipo en $mg \text{ l}^{-1}$.
- $V_{\text{extractante}}$: Volúmen del extractante en ml.
- F_d : Factor de dilución
(en caso de no realizarse diluciones el factor es 1).
- $V_{\text{alícuota}}$: Volumen de la alícuota del extracto.
- P_{muestra} : Peso en g.
- P_w : Humedad a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ en %.

Nota: Las cuantificaciones por colorimetría se basan en la ley de *Lambert Beer* (ecuación 8):

$$K = \frac{C}{A} \quad (8)$$

Donde:

- K : Constante de *Lambert Beer*.
- C : Concentración conocida (muestra o estándares).
- A : Absorbancia (muestra o estándares).

Luego que es hallada la constante de *Lambert Beer* procedemos con los cálculos para la colorimetría para el boro (ecuación 9).

$$ppm \text{ de boro} = K \times A \times F_d \quad (9)$$

Donde:

K : Constante de *Lambert Beer*
(calculada del promedio de la absorbancia de los estándares).

A : Absorbancia de la muestra leída.

F_d : Factor de dilución.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es el rol del boro para las plantas?
2. ¿Cuáles son las fuentes comunes del boro?
3. ¿A qué se refiere la toxicidad del boro?

DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO

OBJETIVO

Implementar el método Walkley-Black para la determinación de la concentración del carbono orgánico en el suelo.

PRINCIPIO

Las mediciones de carbono orgánico en el suelo sirven como índices de fertilidad y dan orientación sobre la fertilización de los cultivos y la capacidad para retener contaminantes. En este método la determinación de carbono orgánico implica la conversión de la forma orgánica a la inorgánica como CO_2 , razón por la cual esta transformación puede ser inducida por métodos de oxidación y reducción; para lo que se utilizará un agente oxidante potente, y el más común usado es el ion dicromato, cuyo exceso puede ser cuantificado por titulación (Walkley & Black, 1934; NTC 5403, 2013).

MATERIALES

El material de vidrio debe estar bien limpio.

- (1) Balanza analítica.
- (1) Estufa.
- (1) Cabina extractora de gases y humos.
- (1) Agitador recíproco.
- (1) Bureta de 50 ml.
- (2) Erlenmeyer de 250 ml.
- (2) Balones volumétricos de 250 ml.
- (4) Espátulas.
- (1) Varilla de vidrio.
- (1) Vidrio reloj.
- (1) Pipeta.
- (1) Probeta de 50 ml.
- (1) Gotero.
- (1) Tamiz de 2 mm.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Solución estándar de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N (1mol l^{-1}):* Pesar 12.26 g de dicromato de potasio pulverizado y seco en horno a 100 °C, agregarlo al balón volumétrico de 250 ml y aforar con agua desionizada.

2. *Solución de sulfato ferroso amónico* $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}]$ 0,5 mol l⁻¹: Pesar 49.02 g de sulfato ferroso amónico y diluir en 200 ml de agua desionizada, agregar 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y aforar con agua desionizada.
3. *Indicador de difenilamina* $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$: Pesar 0.5 g de difenilamina, diluir en 20 ml de agua y aforar a 100 ml con ácido sulfúrico.
4. *Como indicador alterno se emplea el complejo ferroso-ortofenantrolina* 0.025 mol l⁻¹: Pesar 1,73 g de clorhidrato de ortofenantrolina y 0.7 g de sulfato ferroso, diluir en agua y aforar a 100 ml.

Cuantificación de carbono orgánico

La muestra de suelo debe ser previamente secada, molida y tamizada a 2 mm para garantizar la homogeneidad granulométrica. Deben utilizarse simultáneamente 2 controles por cada volumen de dicromato usado.

1. Pesar entre 0.1 g a 1.0 g de muestra. La cantidad dependerá del color de la muestra de suelo, si el suelo tiene alto contenido de materia orgánica (suelo oscuro) se debe usar una menor cantidad de muestra. En la **Tabla 2** se presenta una guía de las cantidades de suelo a tomar al igual que la solución de dicromato de potasio y el ácido sulfúrico necesarios para oxidar el carbono de la muestra.

TABLA 2.
Cantidad de muestra de suelo según su color.

Peso del suelo (g)	Solución de dicromato de potasio 1 mol l ⁻¹ (ml)	Ácido sulfúrico (ml)
0,1 (negros, orgánicos)	20	40
0.1–0.3 (pardos, oscuros)	10	20
0.4–1.0 (claros, arenosos)	5	10

Fuente: Elaboración propia.

2. Haciendo uso de la cabina extractora de gases y humos agregar lentamente a la muestra escogida según la **Tabla 2**, los ml de la solución 1 mol l⁻¹ de dicromato de potasio con suave agitación para obtener una mezcla homogénea, añadir de forma rápida, pero con mucho cuidado los ml de ácido sulfúrico agitando la muestra durante 30 s.
3. Si al agregar el dicromato de potasio y el ácido sulfúrico a la muestra de suelo, esta se vuelve verde, se debe disminuir la cantidad de la muestra al 50%; si el peso de la muestra es de 0.1 g se aumentará la cantidad de reactivos y se llevarán dos controles con la misma cantidad de reactivos empleados en la muestra.
4. Reposar la mezcla dentro de una cabina extractora de gases y humos. Diluir con 50 ml de agua desionizada y enfriar. Añadir 1 ml de ácido fosfórico.
5. Agregar 3 gotas de difenilamina o 3 gotas de ortofenantrolina a esta solución y a los 2 controles; leer y se aforar con la solución de sulfato ferroso amónico hasta el punto de viraje del color verde oscuro inicial pasa a azul turbio y a un color verde brillante en el punto final (difenilamina). En el caso de la ortofenantrolina, el color verde inicial que es formado en el curso de la titulación, vira a vino tinto, el cual debe mantenerse por más de 30 s.
6. Si durante la titulación se gastan menos de 2 ml de la sustancia, se debe disminuir la cantidad de la muestra al 50% y hacer el proceso nuevamente.
7. Si durante la titulación de la muestra consumimos una cantidad de titulante cercana a la de los controles se debe repetir el análisis utilizando una cantidad mayor de muestra.

CÁLCULOS

El carbono se cuantifica mediante la fórmula siguiente (ecuación 10).

$$C_{orgánico} \times \%(fracción \text{ en masa}) = \frac{(B - M) \times N \times 0.003 \times (100 + pW)}{W_m} \quad (10)$$

Donde:

M : Volumen de la solución valoradora empleada en la muestra en ml.

E : Volumen de la solución valoradora empleada en el control en ml.

N : Concentración molar de la solución ferrosa.

0.003 : Factor estequiométrico.

pW : % (fracción en masa de humedad de la muestra).

W_m : Peso en g.

CUESTIONARIO

1. ¿De dónde provienen los componentes orgánicos en el suelo?
2. ¿Porque es importante la cuantificación de la materia orgánica en el suelo?
3. ¿Qué relación tiene la cantidad de materia orgánica con la fertilidad del suelo y otras características fisicoquímicas del mismo?
4. ¿Cuál es la influencia de la presencia de materia orgánica en el suelo ante procesos de contaminación química?
5. ¿Cuáles son los métodos disponibles para la determinación de carbono orgánico?

DETERMINACIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO

OBJETIVO

Determinar el fósforo disponible en el suelo para la valoración de su estado nutricional en relación con usos agrícolas, medio ambiente y recursos naturales.

PRINCIPIO

El fósforo es un macronutriente esencial para los procesos metabólicos que se llevan a cabo en las plantas y los microorganismos. En pequeñas cantidades puede ser un limitante debido a que este forma parte de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos. Por otra parte, cuando se encuentra en exceso en el suelo, a través de su dinámica ambiental puede transferirse a otras matrices ambientales como el agua y generar procesos de eutrofización.

Fracción del contenido total de fósforo en el suelo, correspondiente al contenido usado por las plantas. Para su determinación existen diferentes métodos. Sin embargo, en esta práctica se utilizará un método colorimétrico descrito en la **NTC 5350 (2005)**, el cual aprovecha la formación de complejo fosfomolibdico azul obtenido tras reducción de molibdato con ácido ascórbico y determinación espectrofotométrica. La intensidad del color azul aumenta con la concentración del fósforo. Se basa en el principio de disolver los minerales que contienen P y/o

agotamiento de P retenido en superficies sólidas para la solución, para aniones capaces de competir con P por sitios de retención.

MATERIALES

- (1) Espectrofotómetro UV-visible.
- (1) Beaker de 50 ml.
- (1) Balón volumétrico de 250 ml.
- (1) Erlenmeyer de 250 ml.
- (1) Probeta.
- (1) Tubo de ensayo de 25 ml.
- (1) Pipeta volumétrica de 5 ml.
- (1) Bureta de 50 ml.
- (1) Cronómetro.
- (1) Papel filtro cuantitativo.
- (1) Espátula.
- (1) Agitador mecánico.
- (1) Dispensador de 20 ml.

PROCEDIMIENTO

Reactivos y preparación de soluciones

1. *Solución extractora Olsen*: Solución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) 0.5 mol l^{-1} a pH de 8.5. Para prepararla 10.5 g de bicarbonato de sodio y llevar al balón volumétrico de 250 ml. Ajustar a un pH de 8.5 con hidróxido de sodio (NaOH) 1 mol l^{-1} y agitar para homogeneizar la solución.

2. *Solución A:* Pesar 15 g de molibdato de amonio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}]$ y diluirlos en cerca de 50 ml de agua, y 0.361 g de tartrato de antimonio y potasio $[\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times 1/2\text{H}_2\text{O}]$ e un erlenmeyer de 250 ml. Agitar hasta disolución completa. Agregar suavemente con agitación lenta 175 ml de ácido sulfúrico. Aguardar enfriar la solución pues la interacción de la mezcla anterior genera un calentamiento. Aforar y guardar la solución en frasco ámbar bajo refrigeración.
3. *Solución B:* Preparar una solución de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) al 13.2% (p/v), para esto pesar 1.32 g de ácido ascórbico, agregarlos en un balón volumétrico de 10 ml, añadir 5 ml de agua desionizada, agitar suavemente hasta disolución y aforar con agua desionizada.
4. *Solución de trabajo:* En un balón volumétrico de 250 ml agregar 6.25 ml de la solución A, 2.5 ml de la solución B, aforar con agua desionizada y mezclar bien. Esta solución se debe preparar 5 min antes de la determinación.
5. *Soluciones estándares de fósforo preparadas con el fosfato monobásico de potasio*, y en las concentraciones requeridas.

Digestión del fósforo

1. Pesar 1 g de muestra de suelo previamente seca a una temperatura de 40°C y tamizadas a 2 mm.
2. Agregar la muestra al beaker, añadir 20 ml de solución extractora Olsen y agitar mecánicamente por 30 min.
3. Filtrar las veces que sea necesario hasta obtener una solución traslucida (extracto).

Cuantificación del fósforo

1. Tomar 2 tubos falcón de 50 ml, en uno añadir 1 ml del extracto de la muestra a analizar y en el otro 1 ml de agua desionizada como control del proceso.
2. Agregar 6 ml de agua desionizada a cada tubo.

3. Agregar 27 ml de la solución de trabajo a cada tubo y agitar. Aguardar a que la mezcla reaccione y se desarrolle color, esto puede demorar entre 10 min a 20 min. Este color es estable durante 8 h.
4. Pasar las soluciones coloreadas a la celda del espectrofotómetro, ajustar la longitud de onda a 800 nm o a la longitud máxima a la que funcione el equipo usado. Ajustar el 0 de absorbancia con el control y realizar la lectura del fósforo en las muestras.
5. Realizar la lectura de las soluciones estándares para la curva de calibración y de las muestras y control a analizar.

CÁLCULOS

Hacer la curva de calibración con los datos obtenidos para los estándares, grafique e incluya una regresión lineal para obtener la ecuación que mejor se aproxime a la curva obtenida.

Para calcular el fósforo disponible se debe emplear la siguiente ecuación (11):

$$mg \text{ de } P/kg \text{ de suelo (ppm)} = \frac{L_{\text{equipo}} \times V_{\text{extractante}} \times F_d}{V_{\text{alícuota}} \times (P_{\text{muestra}} (100 + P_w))} \quad (11)$$

Donde:

L_{equipo} : Lectura del equipo en $mg \text{ l}^{-1}$.

$V_{\text{extractante}}$: Volumen del extractante.

F_d : Factor de dilución
(considerar el factor como 1 si no se hace diluciones).

$V_{\text{alícuota}}$: Volumen de la alícuota del extracto.

P_{muestra} : Peso de la muestra.

P_w : Humedad de la muestra a $105 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nota: Las cuantificaciones por colorimetría se basan en la ley de Lamber Beer (ecuación 8):

$$K = \frac{C}{A} \quad (8)$$

Donde:

- K*: Constante de Lamber Beer.
- C*: Concentración conocida (muestra o estándares).
- A*: Absorbancia (muestra o estándares).

Luego que es hallada la constante de *Lambert Beer* se continúa con los cálculos para la colorimetría para el fósforo (ecuación 12).

$$mg/kg (ppm) \text{ de } P = K \times A \times F_d \quad (12)$$

Donde:

- K*: Constante de *Lambert Beer* (calculada a partir del promedio de la absorbancia de los estándares).
- A*: Absorbancia de la muestra leída.
- F_d*: Factor de dilución.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las formas y contenidos del fosforo nativo del suelo?

2. ¿Cuáles son los factores de influencia en las formas de fosforo inorgánico en el suelo?
3. ¿Cuál es la importancia del fosforo para el suelo y las plantas?
4. ¿Qué pasa a nivel medioambiental si aumenta o disminuye el contenido de fosforo en el suelo?, justifique su respuesta.
5. ¿Cuáles son los métodos disponibles para la determinación de fosforo en muestras suelo?

REFERENCIAS

- Berger, K. C. & Truog, E. (1939). Boron determination in soils and plants. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, 11(10), 540–545. <https://doi.org/10.1021/ac50138a007>
- Chernov, V. A. (1964). *The Nature of Soil Acidity: An English Translation*. Madison: Soil Science Society of America.
- Coulter, B. (1969). The equilibria of k: al exchange in clay minerals and acid soils. *Journal of Soil Science*, 20(1), 72–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1969.tb01556.x>
- Harley, A. D. & Gilkes, R. J. (2000). Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56(1), 11–36. <https://doi.org/10.1023/A:1009859309453>
- Ibarra, D., Ruiz, J. A., González, D. R., Flores, J. G. y Díaz, G. (2009). Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México. *Agricultura técnica en México*, 35(3), 267–276. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812263003>
- ICONTEC. (2013). *Calidad del suelo. Determinación del carbono orgánico*. [NTC 5403]. Disponible en <https://1library.co/document/zwr609vy-ntc-determinacion-de-materia-organica.html>
- ICONTEC. (2011). *Calidad del suelo. Determinación del boro*. [NTC 5404]. Disponible en <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-determinacion-de-boro-ntc5404-2011.html>
- ICONTEC. (2006). *Calidad del suelo. Determinación del azufre disponible*. [NTC 5402]. Disponible en <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-determinacion-del-azufre-disponible-ntc5402-2006.html>
- ICONTEC. (2005). *Calidad del suelo. Determinación del fósforo disponible*. [NTC 5350]. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-suelo-determinacion-de-fosforo-disponible-ntc5350-2020.html>

- Jones, C. H. (1915). Method for determining the lime requirement of soils. *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*, 1(1), 43–44. <https://doi.org/10.1093/jaoac/1.1.43>
- Mahler, R. L., Naylor, D. V., & Fredrickson, M. K. (1984). Hot water extraction of boron from soils using sealed plastic pouches. *Communications in soil science and plant analysis*, 15(5), 479–492. <https://doi.org/10.1080/00103628409367491>
- Mckean, S. J. (1993). *Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías*. [Documento de trabajo 129]. Cali: Ciat. Recuperado de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_análisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_teórica_y_práctica_de_metodología.pdf
- Nye, P. H. & Greenland, D. J. (1961). The soil under shifting cultivation. *Soil Science*, 92(5), 354– 354. Disponible en https://journals.lww.com/soilsci/citation/1961/11000/the_soil_under_shifting_cultivation.24.aspx
- Phillips, E. & Lovley, D. (1987). Determination of Fe (III) and Fe (II) in oxalate extracts of sediment. *Soil Science Society of America Journal*, 51(4), 938–941. <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100040021x>
- Probert, M. E. (1976). Studies on ‘available’ and isotopically exchangeable sulfur in some North Queensland soils. *Plant Soil*, 45, 461–475. <https://doi.org/10.1007/BF00011707>
- Ramos, C. G., dos Santos, D. D. S., Gomez, L., Silva, L. F., Homrich, I. A. & Kautzmann, R. M. (2020). Evaluation of soil re-mineralizer from by-product of volcanic rock mining: experimental proof using black oats and maize crops. *Natural Resources Research*, 29(3), 1583–1600. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09529-x>
- Ramos, C. G., Querol, X., Dalmora, A. C., de Jesus, K. C., Homrich, I. A., Silva, L. F. & Kautzmann, R. M. (2017). Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2700–2706. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.006>
- Shanina, T. M., Gelman, N.E. & Mikhailovskaya, V. S. (1967). Quantitative analysis of heteroorganic compounds. Spectrophotometric microdetermination of boron. *J. Anal. Chem.*, 22, 663–667.

Walkley, A. & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

MODELO DE INFORME

TÍTULO DE LA PRÁCTICA

Nombre de los estudiantes.
En orden alfabético y de la siguiente forma: Pérez-Pérez, P.

Nombre de la asignatura, Grupo XX,
Programa de XXX, Universidad de la Costa

Correo electrónico de los integrantes del grupo.
DEBE SER EL CORREO INSTITUCIONAL

Nombre del profesor

Fecha de realización de la experiencia

RESUMEN

Deben incluir un resumen de toda la práctica, desde el inicio de esta hasta los resultados obtenidos y si se cumplió o no con la experiencia. Máximo 180 palabras.

Palabras claves:

ABSTRACT

Resumen en inglés. EVITAR COPY-PASTE DE GOOGLE.

Keywords:

1. INTRODUCCIÓN

Esta debe incluir los objetivos inmersos.

2. MARCO TEÓRICO

Debe estar abreviado y redactado, máximo 2 páginas.

3. METODOLOGIA

En esta se deben incluir: Materiales, Insumos, equipos y Reactivos que se utilizaron en la práctica. Además de la descripción de cada uno de los métodos que se utilizaron. También debe incluir fotos de la experiencia realizada

4. ANÁLISIS Y DISCUSIONES

En esta se debe incluir: los resultados de la práctica, análisis de los resultados comparándolos con la normatividad vigente y otras referencias bibliográficas que DEBEN consultar.

LA LECTURA DE RESULTADOS NO CUENTA COMO ANÁLISIS

5. CUESTIONARIO

Se deben responder las preguntas que se incluyen en cada guía. Se debe redactar la respuesta y **NO COPIAR Y PEGAR**.

6. CONCLUSIONES

En esta se debe incluir los apartados finales del informe del cumplimiento de los objetivos y de qué manera se cumplieron.

BIBLIOGRAFÍA

Las referencias deben ir en formato APA, y deben adicionar más referencias de las que aparecen en la guía. Se exige un mínimo de 10 referencias que se deben evidenciar durante el desarrollo del informe.

ANEXOS

En esta sección se adicionan todas las tablas, cálculos y gráficas que se generen de la práctica. Adicionalmente, estos deben estar debidamente referenciados y estar interconectadas con las secciones anteriores.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA INFORMES DE LABORATORIO:

- Cumplimiento de las normas.
- Marco Teórico
- Metodología.
- Resultados y análisis de los resultados.
- Conclusiones.
- Anexos.

NOTA: Cada profesor es libre de establecer la rúbrica para la evaluación.



Erika Esperanza Arbeláez Silva

Técnico Profesional en Laboratorio de la Corporación Instituto de Artes y Ciencias-CIAC (Ahora Corporación Universitaria Latinoamericana-CUL). Ingeniera Ambiental de la Universidad de la Costa (Colombia). Profesor Asistente y responsable del Centro de Investigaciones en Tecnologías Ambientales-CITA de la Universidad de la Costa y miembro del grupo de investigación en Gestión y Sostenibilidad Ambiental - GESSA.



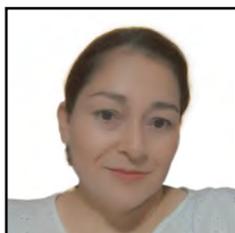
Erika Alejandra Suárez Agudelo

Ingeniera Ambiental y Especialista en Gestión Ambiental Empresarial de la Universidad de la Costa (Colombia). Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales (Colombia). Profesor Asistente y responsable del Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad de la Costa. Investigador Junior por Colciencias y miembro del grupo de investigación en Gestión y Sostenibilidad Ambiental-GESSA.



Claudete Gindri Ramos

Graduada en Química del Centro Universitario La Salle-Unilasalle (Brasil). Máster en Evaluación de Impacto Ambiental del Centro Universitario La Salle-Unilasalle (Brasil) y doctorado en Ingeniería de Minas, Materiales y metalurgia - PPGE3M de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS) (Brasil). Tiene experiencia en el campo de la fertilización del suelo con el uso de subproductos industriales.



Andrea Moreno Ríos

Ingeniera Química de la Universidad Industrial de Santander - UIS (Colombia). Magister en Ingeniería Química de la UIS. Candidata a Doctor en Toxicología Ambiental de la Universidad de Cartagena (Colombia). Profesor asistente, líder de la sublínea de investigación "Ciencia y Tecnología para la Sostenibilidad ambiental / Biotecnologías". Miembro del grupo de investigación en Gestión y sostenibilidad Ambiental GESSA. Profesora líder del semillero Química y toxicología ambiental de la Universidad de la Costa (Colombia).