

GUÍA DE LABORATORIO

Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC)
Método de Acetato de Amonio 1N, pH 7.0

Institución:

Universidad de Cartagena
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Laboratorio de Química

Documento:

Código: LABQUIM-CEC-001
Versión: 1.0
Fecha: Febrero 2026

1 Introducción

La **Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC)** es una propiedad fundamental de los suelos y materiales orgánicos que refleja la cantidad total de cargas negativas disponibles en las superficies de las partículas coloidales (arcillas y materia orgánica) para retener cationes intercambiados.

Esta propiedad determina:

- La capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)
- La fertilidad y capacidad amortiguadora del suelo
- El comportamiento de contaminantes iónicos en el suelo
- La estabilidad estructural y dinámica del agua en el suelo

El método de **acetato de amonio 1N a pH 7.0** es uno de los procedimientos estándar más utilizados internacionalmente para la determinación de CEC, establecido por organismos como la EPA (Método SW-846 9080), ISO (ISO 11260:2018) y FAO/GLOSOLAN.

2 Fundamento del Método

2.1 Principio Básico

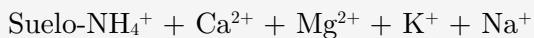
El método se basa en el intercambio catiónico entre los cationes adsorbidos naturalmente en el suelo y el ion amonio (NH_4^+) del extractante. El proceso consta de tres etapas principales:

1. **Saturación:** El suelo se satura con acetato de amonio 1N (pH 7.0), reemplazando todos los cationes intercambiados (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , etc.) por iones NH_4^+ .
2. **Lavado:** Se elimina el exceso de acetato de amonio no adsorbido mediante lavados con etanol al 70%, evitando la pérdida de NH_4^+ intercambiado.
3. **Desplazamiento y Cuantificación:** El NH_4^+ adsorbido se desplaza con una solución de KCl 1M y se cuantifica por espectrofotometría UV-Vis mediante el método colorimétrico de indofenol azul.

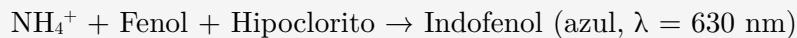
La CEC se calcula a partir de la cantidad total de NH_4^+ intercambiado y se expresa en centímoles de carga positiva por kilogramo de suelo seco ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

2.2 Reacciones de Intercambio

La reacción general de saturación es:



La cuantificación colorimétrica se basa en la reacción de Berthelot (indofenol):



3 Alcance y Aplicabilidad

3.1 Alcance

Esta guía describe el procedimiento para la determinación de la **CEC efectiva** en:

- Suelos minerales
- Suelos orgánicos
- Fertilizantes orgánicos sólidos
- Sustratos y compost
- Materiales arcillosos

3.2 Limitaciones

IMPORTANTE: Este método presenta las siguientes limitaciones:

- **Suelos ácidos ($\text{pH} < 6$):** El pH 7.0 del extractante puede generar cargas negativas adicionales por disociación de grupos funcionales, **sobreestimando** la CEC efectiva del suelo a su pH natural.
- **Suelos calcáreos (con CaCO_3):** La disolución parcial de carbonatos puede liberar Ca^{2+} que compite con el NH_4^+ , **subestimando** la CEC.
- **Suelos con yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):** Similar al caso anterior, la disolución de yeso puede interferir con la saturación.
- **Suelos con minerales 2:1 expansibles:** El NH_4^+ puede quedar atrapado irreversiblemente en espacios interlaminares, especialmente en vermiculitas.

4 Reactivos y Materiales

4.1 Reactivos Requeridos

4.1.1 Reactivos Principales

1. **Acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$):** Grado analítico
2. **Ácido acético glacial (CH_3COOH):** 99.7%, grado analítico
3. **Hidróxido de amonio (NH_4OH):** Concentrado (28-30% NH_3)
4. **Cloruro de potasio (KCl):** Grado analítico
5. **Etanol:** 95% o absoluto (para preparar etanol al 70%)
6. **Agua destilada o desionizada:** Conductividad < 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$

4.1.2 Reactivos para Cuantificación Colorimétrica (Método Indofenol)

1. **Fenol:** Grado analítico
2. **Hipoclorito de sodio (NaOCl):** Solución al 5-12%
3. **Nitroprusiato de sodio ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):** Grado analítico
4. **Hidróxido de sodio (NaOH):** Grado analítico
5. **Citrato de sodio tribásico dihidratado:** Grado analítico

NOTA: Todos los reactivos están disponibles en el inventario del Laboratorio de Química de la Universidad de Cartagena (verificado febrero 2026).

4.2 Equipamiento

4.2.1 Equipamiento Esencial

- Balanza analítica (± 0.0001 g)
- Agitador mecánico (end-over-end shaker o agitador orbital)
- Centrífuga (4000 rpm mínimo)
- **Espectrofotómetro UV-Vis** (longitud de onda 630 nm)
- pHmetro calibrado
- Estufa de secado ($105 \pm 2^\circ\text{C}$)

4.2.2 Materiales de Vidrio y Plástico

- Tubos de centrífuga (50-100 mL) con tapón hermético
- Matraces aforados (50, 100, 500, 1000 mL)
- Pipetas volumétricas (1, 5, 10, 25 mL)
- Embudos de vidrio
- Papel filtro Whatman No. 42 o equivalente
- Celdas de cuarzo o plástico para espectrofotómetro (1 cm de paso óptico)
- Cápsulas de porcelana o aluminio
- Espátulas y agitadores de vidrio

5 Preparación de Soluciones

5.1 Solución de Acetato de Amonio 1N, pH 7.0

Método A - Desde sales sólidas:

1. Pesar 77.08 g de acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$)
2. Disolver en aproximadamente 800 mL de agua destilada
3. Ajustar el pH a 7.0 ± 0.05 con ácido acético glacial o hidróxido de amonio
4. Aforar a 1000 mL con agua destilada
5. Almacenar en frasco ámbar a temperatura ambiente (estable por 6 meses)

Método B - Desde ácido acético e hidróxido de amonio:

1. Agregar 57 mL de ácido acético glacial a 700 mL de agua destilada
2. Añadir lentamente 68 mL de hidróxido de amonio concentrado (14N)
3. Ajustar el pH a 7.0 ± 0.05
4. Aforar a 1000 mL
5. Almacenar en frasco ámbar

5.2 Solución de Cloruro de Potasio 1M

1. Pesar 74.55 g de KCl
2. Disolver en agua destilada
3. Aforar a 1000 mL

4. Almacenar a temperatura ambiente (estable indefinidamente)

5.3 Etanol al 70% (v/v)

1. Medir 700 mL de etanol al 95% (o 737 mL de etanol absoluto)
2. Aforar a 1000 mL con agua destilada
3. Mezclar bien
4. Almacenar en frasco de vidrio hermético

5.4 Reactivos para Indofenol (Cuantificación de NH₄⁺)

5.4.1 Reactivo de Fenol-Nitroprusiato

1. Disolver 5.0 g de fenol en agua destilada
2. Disolver 25 mg de nitroprusiato de sodio en la misma solución
3. Aforar a 500 mL
4. Almacenar en frasco ámbar en refrigeración (4°C)
5. Estabilidad: 1 mes

5.4.2 Reactivo Alcalino de Hipoclorito

1. Disolver 2.5 g de NaOH en agua destilada
2. Añadir 2.1 mL de hipoclorito de sodio al 12% (o ajustar según concentración disponible)
3. Aforar a 500 mL
4. Preparar fresco semanalmente
5. Almacenar en frasco ámbar a temperatura ambiente

5.4.3 Solución Estándar de NH₄⁺ (100 mg NH₄⁺/L)

1. Secar cloruro de amonio (NH₄Cl) a 105°C durante 2 horas
2. Pesar 0.2965 g de NH₄Cl seco
3. Disolver en agua destilada
4. Aforar a 1000 mL
5. Almacenar en refrigeración (estable 3 meses)
6. Diluir según necesidad para curva de calibración (rango: 0-5 mg NH₄⁺/L)

6 Procedimiento Experimental

6.1 Preparación de la Muestra

1. **Secado:** Secar la muestra de suelo al aire hasta peso constante
2. **Tamizado:** Pasar por tamiz de 2 mm (malla No. 10)
3. **Homogeneización:** Mezclar bien la muestra tamizada
4. **Determinación de humedad:** Secar 5-10 g de muestra a 105°C durante 24 horas para corrección a base seca

6.2 Saturación con Acetato de Amonio

1. Pesar 5.00 g de suelo seco al aire (ajustar según CEC esperada, ver Tabla 1)
2. Transferir a tubo de centrífuga de 100 mL
3. Agregar 50 mL de solución de acetato de amonio 1N (pH 7.0)
4. Tapar herméticamente
5. Agitar en agitador mecánico durante **16-18 horas** (overnight) a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$)
6. Centrifugar a 4000 rpm durante 20 minutos
7. Decantar cuidadosamente el sobrenadante (descartar)
8. **Repetir pasos 3-7 dos veces más** (total: 3 extracciones con acetato de amonio)

NOTA: La repetición asegura la saturación completa de los sitios de intercambio con NH_4^+ .

6.3 Lavado con Etanol

1. Al residuo de suelo saturado, agregar 50 mL de etanol al 70%
2. Agitar vigorosamente por inversión (1 minuto)
3. Centrifugar a 4000 rpm durante 10 minutos
4. Decantar el sobrenadante (descartar)
5. **Repetir pasos 1-4 dos veces más** (total: 3 lavados)
6. **Prueba de cloruro:** Al último lavado, agregar 1 gota de AgNO_3 0.1M. Si aparece turbidez blanca, realizar un lavado adicional.

IMPORTANTE: El lavado con etanol elimina el exceso de acetato de amonio sin desplazar el NH_4^+ adsorbido en los sitios de intercambio.

6.4 Desplazamiento del NH_4^+ con KCl

1. Al residuo de suelo lavado, agregar 50 mL de solución de KCl 1M
2. Agitar mecánicamente durante **30 minutos**
3. Centrifugar a 4000 rpm durante 20 minutos
4. Decantar el sobrenadante en un matraz aforado de 250 mL
5. **Repetir pasos 1-4 cuatro veces más**, recogiendo todos los extractos en el mismo matraz
6. Aforar a 250 mL con solución de KCl 1M
7. Mezclar bien por inversión
8. Filtrar una alícuota si se observa turbidez

9. Almacenar refrigerado (4°C) si no se analiza de inmediato (estable 1 semana)

7 Cuantificación de NH₄⁺ por Espectrofotometría UV-Vis

7.1 Método Colorimétrico de Indofenol Azul

7.1.1 Preparación de Curva de Calibración

1. A partir de la solución estándar de NH₄⁺ (100 mg/L), preparar estándares de 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 mg NH₄⁺/L
2. Para cada estándar:
 - Tomar 5.0 mL en un tubo de ensayo
 - Agregar 0.4 mL de reactivo fenol-nitroprusiato
 - Agregar 0.4 mL de reactivo alcalino de hipoclorito
 - Mezclar por inversión
 - Dejar reposar en oscuridad a temperatura ambiente durante **1 hora**
 - Medir absorbancia a 630 nm contra el blanco (0 mg/L)
3. Construir curva de calibración: Absorbancia vs. Concentración (mg NH₄⁺/L)
4. Calcular ecuación de regresión lineal ($R^2 > 0.995$)

7.1.2 Análisis de Muestras

1. Diluir el extracto de KCl según sea necesario (factor de dilución típico: 1:10 o 1:20)
2. Tomar 5.0 mL del extracto diluido en tubo de ensayo
3. Agregar 0.4 mL de reactivo fenol-nitroprusiato
4. Agregar 0.4 mL de reactivo alcalino de hipoclorito
5. Mezclar y dejar reposar 1 hora en oscuridad
6. Medir absorbancia a 630 nm
7. Preparar un blanco de reactivos (5 mL de agua destilada + reactivos)
8. Realizar cada determinación por duplicado

ADVERTENCIA: El hipoclorito de sodio es corrosivo. Usar guantes, gafas de seguridad y trabajar en campana extractora. Evitar contacto con ácidos (libera cloro gaseoso tóxico).

8 Cálculos

8.1 Cálculo de la Concentración de NH₄⁺

1. A partir de la curva de calibración, obtener la concentración en el extracto diluido: C_{diluido} (mg NH₄⁺/L)
2. Aplicar factor de dilución:

$$C_{\text{extracto}} = C_{\text{diluido}} \times FD$$

Donde FD es el factor de dilución aplicado.

8.2 Cálculo de la CEC

La CEC se calcula mediante:

$$\text{CEC} = \frac{C_{\text{extracto}} \times V \times 10^{-3}}{M_s \times \frac{100-w}{100} \times 18.04}$$

Donde:

- CEC = Capacidad de intercambio catiónico ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)
- C_{extracto} = Concentración de NH_4^+ en el extracto final (mg/L)
- V = Volumen final del extracto (mL) = 250 mL
- M_s = Masa de suelo seco al aire (g)
- w = Contenido de humedad de la muestra (%), base seca
- 18.04 = Masa molar del NH_4^+ (g/mol)
- 10^{-3} = Factor de conversión L/mL

Simplificando para $V = 250$ mL:

$$\text{CEC} = \frac{C_{\text{extracto}} \times 0.250}{M_s \times \frac{100-w}{100} \times 18.04}$$

$$\text{CEC} = \frac{13.86 \times C_{\text{extracto}}}{M_s \times \frac{100-w}{100}}$$

8.3 Ejemplo de Cálculo

Datos:

- Masa de suelo seco al aire: $M_s = 5.00$ g
- Humedad de la muestra: $w = 2.5\%$
- Absorbancia medida: 0.450
- Ecuación de calibración: $y = 0.150x + 0.005$ ($R^2 = 0.998$)
- Factor de dilución aplicado: FD = 10

Cálculo:

1. Concentración en extracto diluido:

$$C_{\text{diluido}} = \frac{0.450 - 0.005}{0.150} = 2.97 \text{ mg NH}_4^+ / \text{L}$$

2. Concentración en extracto original:

$$C_{\text{extracto}} = 2.97 \times 10 = 29.7 \text{ mg NH}_4^+ / \text{L}$$

3. CEC:

$$\text{CEC} = \frac{13.86 \times 29.7}{5.00 \times \frac{100-2.5}{100}} = \frac{411.7}{4.875} = 84.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$$

Resultado: CEC = 84.5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (base seca)

9 Control de Calidad

9.1 Blancos y Controles

- Blanco de reactivos:** Procesar un blanco (sin muestra) con cada lote de análisis
- Blanco de extracción:** Realizar todo el procedimiento sin muestra
- Material de referencia certificado:** Analizar un suelo de referencia con CEC certificada en cada sesión de análisis (frecuencia: 1 cada 10 muestras)
- Duplicados:** Realizar análisis por duplicado para al menos el 10% de las muestras

9.2 Criterios de Aceptación

Parámetro	Criterio
Coeficiente de regresión (R^2)	> 0.995
Desviación relativa entre duplicados	< 10%
Recuperación de material de referencia	90-110%
Blanco de extracción	< 5% del valor de la muestra

9.3 Repetibilidad y Reproducibilidad

- Repetibilidad (mismo día, mismo analista):** $CV < 5\%$
- Reproducibilidad (diferentes días, diferentes analistas):** $CV < 10\%$

10 Seguridad y Manejo de Residuos

10.1 Equipamiento de Protección Personal (EPP)

- Bata de laboratorio
- Guantes de nitrilo
- Gafas de seguridad
- Mascarilla (al manipular reactivos volátiles)
- Trabajo en campana extractora para hipoclorito y ácidos

10.2 Riesgos Específicos

Reactivos	Peligro	Precauciones
Ácido acético glacial	Corrosivo, vapores irritantes	Usar en campana, evitar contacto con piel
Hidróxido de amonio	Corrosivo, vapores tóxicos	Usar en campana, evitar inhalación
Hipoclorito de sodio	Corrosivo, oxidante fuerte	No mezclar con ácidos, usar guantes
Fenol	Tóxico por contacto y vapores	Usar guantes y campana
Etanol	Inflamable	Mantener alejado de fuentes de ignición

10.3 Manejo de Residuos

- **Extractos de acetato de amonio y KCl:** Neutralizar a pH 6-8 con ácido o base diluida, luego desechar en drenaje con abundante agua
- **Etanol usado:** Recuperar para destilación o desechar en contenedor de residuos orgánicos
- **Reactivos de indofenol:** Neutralizar y desechar según normativa local de residuos químicos
- **Suelos analizados:** Pueden desecharse como residuos sólidos no peligrosos

11 Interpretación de Resultados

11.1 Clasificación de CEC en Suelos

Categoría	CEC ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	Tipo de Suelo
Muy baja	< 6	Suelos arenosos, textura gruesa
Baja	6-12	Suelos franco-arenosos, arcillas 1:1
Moderada	12-25	Suelos fracos, arcillas mixtas
Alta	25-40	Suelos arcillosos, montmorillonita
Muy alta	> 40	Suelos orgánicos, turbas, arcillas expansivas

11.2 Factores que Afectan la CEC

1. **Textura:** Suelos arcillosos > limosos > arenosos
2. **Tipo de arcilla:** Montmorillonita (2:1) > Illita > Caolinita (1:1)
3. **Materia orgánica:** Incrementa significativamente la CEC (200-400 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)
4. **pH del suelo:** A mayor pH, mayor CEC en suelos con cargas variables

5. **Contenido de óxidos:** Óxidos de Fe/Al pueden reducir CEC efectiva

12 Referencias

1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1986). *Method 9080: Cation-Exchange Capacity of Soils (Ammonium Acetate)*. SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. Revision 0. Disponible en: <https://www.epa.gov/hw-sw846>
2. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 11260:2018 - Soil quality - Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution*. ISO, Geneva, Switzerland.
3. FAO & GLOSOLAN (Global Soil Laboratory Network). (2022). *Standard operating procedure for cation exchange capacity and exchangeable bases by 1N ammonium acetate, pH 7.0 method*. Validated/Approved 26 July 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
4. Santoni, S., Bonifacio, E., & Zanini, E. (2001). Indophenol blue colorimetric method for measuring cation exchange capacity in sandy soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(13-14), 2519-2530.
5. Yuan, J., E, S., & Zhao, X. (2025). Improved determination efficiency of the cation exchange capacity and exchangeable base cations in soil using stirring and extraction modifications. *Soil & Tillage Research*, 248, 106429. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106429>
6. International Organization for Standardization. (2018). *ISO 23470:2018 - Soil quality - Determination of effective cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations using a hexamminecobalt(III)chloride solution*. Second edition. ISO, Geneva, Switzerland.

13 Anexos

13.1 Anexo A: Tabla de Masas de Muestra según CEC Esperada

CEC Esperada (cmol _c kg ⁻¹)	Masa de Muestra (g)	Observaciones
< 5	10.0	Suelos arenosos, muy baja CEC
5-10	7.5-10.0	Suelos franco-arenosos
10-20	5.0	Suelos fracos, CEC moderada
20-40	2.5-5.0	Suelos arcillosos
> 40	1.0-2.5	Suelos orgánicos, turbas

Tabla 1: Masas de muestra recomendadas para diferentes rangos de CEC esperada

NOTA: La masa de muestra debe ajustarse para que la cantidad de NH₄⁺ intercambiado esté dentro del rango de cuantificación del método (0.5-5.0 mg/L después de dilución).

13.2 Anexo B: Registro de Datos

Parámetro	Valor
Identificación de la muestra	
Fecha de análisis	
Analista	
Masa de muestra seca al aire (g)	
Humedad de la muestra (%)	
Volumen de extracto final (mL)	
Factor de dilución aplicado	
Absorbancia medida (630 nm)	
Concentración calculada en dilución (mg NH ₄ ⁺ /L)	
Concentración en extracto original (mg NH ₄ ⁺ /L)	
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	
Observaciones	

Tabla 2: Formato de registro de datos para determinación de CEC

13.3 Anexo C: Solución de Problemas

Problema	Causa Probable	Solución
Color muy débil o ausente	Baja concentración de NH_4^+ , reactivos vencidos	Reducir dilución, verificar reactivos, usar mayor masa de muestra
Color verde en lugar de azul	Exceso de fenol o pH incorrecto	Verificar proporción de reactivos, ajustar pH del reactivo alcalino
Turbidez en extracto	Suspensión de coloides	Centrifugar nuevamente o filtrar antes de colorimetría
Valores de CEC muy altos	Disolución de carbonatos/yeso, error en cálculos	Verificar pH de muestra, repetir lavado, revisar cálculos
Mala repetibilidad	Homogeneización deficiente, errores de pipeteo	Mezclar mejor la muestra, calibrar pipetas, usar replicados
Blanco alto	Contaminación con NH_4^+	Usar agua ultra-pura, limpiar materiales, verificar reactivos

Universidad de Cartagena
 Laboratorio de Química
 Cartagena de Indias, Colombia

Versión 1.0 | Febrero 2026