

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA



DESARROLLO DE UN MANUAL DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EL ANÁLISIS DE
SUELO, SEDIMENTOS Y ABONOS ORGÁNICOS EN LOS LABORATORIOS DEL
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONÓMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

PRESENTADO POR
JOSÉ DANIEL MENDOZA HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE

LICENCIADO EN QUÍMICA Y FARMACIA

ABRIL 2026

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMÉRICA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MAESTRO JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LICENCIADO PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA

DECANA

MAESTRA NANCY ZULEYMA GONZÁLEZ SOSA

SECRETARIA

LICENCIADA EUGENIA SORTO LEMUS

DIRECCIÓN GENERAL DE PROCESOS DE GRADO

DIRECTORA GENERAL

LICENCIADA ANA LUISA CRUZ DE ALEGRÍA

LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONÓMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

MAESTRA FLOR DE MARIA LÓPEZ

TRIBUNAL EVALUADOR

MAESTRO ELISEO ERNESTO AYALA MEJÍA

MAESTRO OSCAR RAÚL AVILÉS FLORES

LICENCIADO MARIO ANTONIO HERNÁNDEZ MELGAR (TUTOR)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, por guiarme y sostenerme en cada paso de este camino académico y personal.

A mis padres y familiares quienes, con su apoyo incondicional, consejos y ejemplo han sido el pilar que me impulsó a seguir adelante en los momentos más desafiantes.

A mi novia y a su familia, por el amor, la paciencia y la confianza que me brindaron, convirtiéndose en una inspiración constante y en la fuerza que me animó a continuar y culminar este trayecto.

A mis maestros, tutores y compañeros, quienes con su guía, enseñanzas y compañía enriquecieron esta etapa de formación, aportando no solo conocimientos, sino también experiencias que marcaron mi crecimiento personal y profesional.

Al Licenciado Mario Hernández, quien con su guía, paciencia y compromiso me acompañó en este proceso académico. Su orientación constante y sus valiosas observaciones fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, motivándome a mantener la disciplina y el rigor científico en cada etapa.

A la Ingeniera Flor de María López, por su excelente trabajo profesional como tutora, por apoyarme, enseñarme y corregirme con dedicación. Su paciencia y la confianza depositada en mi desempeño fueron esenciales para fortalecer mi seguridad y motivación. Gracias a su guía, recibí una orientación clara y constante que contribuyó de manera significativa a mi desarrollo tanto profesional como personal.

A la Facultad de Ciencias Agronómicas, por la oportunidad y la confianza brindada para desarrollar la última etapa de mi formación junto a ellos, experiencia que fortaleció mi compromiso y vocación.

DEDICATORIA

Dedicado al amor de mi vida, que desde el cielo sonrío orgullosa porque este logro también le pertenece. Por haber puesto siempre sus esperanzas en mí y nunca rendirse a mi lado, por soñar con verme alcanzar este momento y, ahora, gozar de la alegría de saberlo cumplido. Con amor y esfuerzo, en nombre de mi amada y queridísima abuela, Lorenza Amaya de Mendoza.

A mi querido abuelito Ambrosio Mendoza, con profundo cariño y gratitud. Su ejemplo de esfuerzo, sabiduría y valores ha sido una guía constante en mi vida. Gracias por su apoyo incondicional, por las enseñanzas transmitidas con paciencia y por la confianza que siempre depositó en mí.

Especialmente a mi padre José Mendoza, que aun en la distancia siempre estuvo presente cuando lo necesité. Sé que algún día lo tendré cerca, conmigo, y esa certeza es mi mayor motivación.

A mi madre, Estelia Hernández, ejemplo de perseverancia y fortaleza. Gracias por enseñarme a nunca rendirme y por llenarme de energía en los momentos más difíciles. Eres mi inspiración, y pensar que cada meta alcanzada te hace feliz es el mayor acto de amor que puedo ofrecerte.

A mi hermano Isaac Mendoza, que siempre se preocupó por mí en cada situación y que, al verme como su ejemplo y motivación, me inspiró a ser mejor cada día.

A mi novia y a su familia, por el amor, la paciencia y la confianza que me brindaron, convirtiéndose en una inspiración constante y en la fuerza que me animó a continuar y culminar este trayecto. Gracias por recordarme que cada meta alcanzada tiene más sentido cuando se comparte con alguien que cree en nosotros.

Dedicado a todas las personas que caminaron a mi lado y nunca me dejaron solo, que confiaron plenamente en mí y me impulsaron a luchar por mis sueños. Gracias por su tiempo, su paciencia, su confianza y su compañía. Aunque en el camino muchas cosas cambien, la vida siempre me ha puesto frente a personas correctas, aquellas que me motivaron a seguir y a no rendirme. “Nadie nace completamente solo; algún día encontrarás compañeros que darán la vida por ti.” – *OP*

José Daniel Mendoza Hernández

ÍNDICE GENERAL

Pág. N°

ABREVIATURAS

RESUMEN

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN	11
-------------------------------	----

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS	13
----------------------------	----

2.1 Objetivo General	13
----------------------------	----

2.2 Objetivos Específicos.....	13
--------------------------------	----

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO	15
--------------------------------	----

3.1 Química analítica.....	15
----------------------------	----

3.1.1 Química analítica cualitativa.....	16
--	----

3.1.2 Química analítica cuantitativa.....	16
---	----

3.2 Matriz Suelo	17
------------------------	----

3.2.1 Suelo.....	17
------------------	----

3.2.2 Sedimento.....	18
----------------------	----

3.2.3 Abonos orgánicos.....	19
-----------------------------	----

3.5 Pretratamiento	20
--------------------------	----

3.5.1 Etapas del pretratamiento.....	21
--------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL	23
---------------------------------	----

4.1 Pretratamientos de suelos, sedimentos y abonos orgánicos	15
--	----

4.2 Análisis fisicoquímico de suelos-sedimentos-abonos orgánicos	16
--	----

4.3 Determinación de minerales.....	16
-------------------------------------	----

CAPÍTULO V

5.0 CONCLUSIONES	99
-------------------------------	----

CAPÍTULO VI

6.0 RECOMENDACIONES	101
----------------------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág. N°
1	Preparación de soluciones estándar múltiples para Fe, Na, K, Zn y Cu	84
2	Preparación de soluciones estándar individuales para Ni, Mn, Cd y Pb	86
3	Preparación de soluciones estándar de Ca y Mg	89
4	Parámetros de repetición en equipo	90
5	Parámetros de lectura de minerales en AA-Llama	91
6	Parámetros de atomizado en equipo	91
7	Parámetros para lectura de minerales en AA-Horno	93
8	Parámetros para lectura de minerales en AA-GH	97

ABREVIATURAS

- **AA:** Absorción Atómica
- **AA-GH:** Absorción Atómica, Generador de hidruros
- **AOAC:** Association of Analytical Communities
- **CE:** Conductividad Eléctrica
- **FAO:** Food and Agriculture Organization
- **NT:** Nitrógeno Total
- **pH:** Potencial de Hidrógeno
- **PPM:** Partes por millón
- **SAL:** Salinidad
- **SD:** Sólidos Disueltos
- **SS:** Sólidos Suspendidos
- **STD:** Sólidos Totales Disueltos

RESUMEN

El presente trabajo surge de la necesidad de uniformizar criterios y estandarizar procedimientos en los análisis de suelos, sedimentos y abonos orgánicos realizados en los laboratorios del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. La ausencia de documentación escrita sobre algunos procesos dificultaba la formación de estudiantes y generaba variabilidad en los resultados, lo que evidenció la importancia de contar con un manual técnico que compile y sistematice las metodologías analíticas y de pretratamiento. El objetivo general consistió en elaborar un manual de métodos analíticos para el análisis de suelos, sedimentos y abonos orgánicos, que incluyera procedimientos de pretratamiento y metodologías reconocidas internacionalmente, adaptadas a las condiciones locales.

La metodología empleada se basó en la recopilación y sistematización de información normativa e internacional y la integración de observaciones derivadas de la práctica profesional supervisada y de la retroalimentación de profesionales del laboratorio, diseñando protocolos específicos para cada tipo de muestra. El principal resultado fue la elaboración de un manual técnico estructurado que reúne metodologías analíticas y protocolos de pretratamiento paso a paso, con recomendaciones prácticas orientadas a mejorar la reproducibilidad de resultados y facilitar la formación de nuevo personal, fortaleciendo la calidad institucional.

La conclusión principal es que la elaboración del manual permitió disponer de un documento estandarizado que garantiza rigor científico, relevancia académica y utilidad práctica, contribuyendo a la mejora continua de los procesos de análisis de la matriz suelo. Finalmente, se recomienda a la Facultad de Ciencias Agronómicas implementar el manual como documento institucional de referencia, promover su uso en proyectos de investigación y extensión, y evaluar periódicamente su aplicación para asegurar su actualización y pertinencia científica.

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUCCIÓN

La elaboración de este manual tuvo como fundamento la necesidad de contar con un documento específico con los procedimientos estandarizados para el análisis de suelos, sedimentos, y abonos orgánicos, en un contexto institucional. La ausencia de la documentación de algunos procesos desarrollados dentro del laboratorio dificultaba en cierta manera el proceso de formación de estudiantes, generando variabilidad en los resultados y limitando la confiabilidad de los procesos analíticos.

En este marco, el manual se concibe como parte de los esfuerzos institucionales y académicos orientado a estandarizar los procesos de un laboratorio de química. Su propósito es brindar a los estudiantes, personal docente o analista, lineamientos para desarrollar habilidades y destrezas para el análisis de la matriz suelo, de manera que se fortalezcan las capacidades de los involucrados en el aprendizaje dentro del laboratorio.

El trabajo se llevó a cabo durante en periodo de 6 meses (julio a diciembre del 2025), en los cuales se recopiló información normativa, se revisaron protocolos internacionales y se integraron observaciones provenientes de la práctica profesional y de la retroalimentación de los profesionales del laboratorio. El objetivo fue diseñar un documento que sirva como herramienta didáctica y técnica, capaz de orientar de manera precisa las actividades de laboratorio y garantizar la precisión en los resultados obtenidos.

El manual constituye una respuesta concreta a la necesidad de estandarizar los procesos de análisis, fortaleciendo la calidad institucional y ofreciendo una herramienta útil para el personal del laboratorio. Asimismo, se considera como una herramienta dentro del proceso de mejora continua y la optimización de servicios y procesos en el ámbito académico y profesional que se desarrolla en el laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

CAPÍTULO II

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar un manual de métodos analíticos para el análisis de suelos, sedimentos y abonos orgánicos en los laboratorios del departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador

2.2 Objetivos Específicos:

2.2.1 Recopilar información sobre las metodologías analíticas para el análisis de suelos, sedimentos y abonos orgánicos.

2.2.2 Organizar la información en un manual de laboratorio para la matriz suelo, incluyendo las partes necesarias para el correcto desarrollo de cada metodología.

2.2.3 Diseñar procedimientos de pretratamiento para cada tipo de muestra, según los objetivos del análisis y las propiedades de la muestra.

CAPÍTULO III

3.0 MARCO TEÓRICO

3.1 Química Analítica

Desde sus orígenes, la química ha tenido como objetivo comprender la composición de la materia, las sustancias que la conforman y los efectos que estas ejercen sobre el ambiente y los seres vivos. A partir de este interés, los investigadores han desarrollado procedimientos que, a lo largo de la historia, han permitido caracterizar las sustancias, así como aprovechar o sintetizar aquellas de utilidad para el ser humano.

De manera progresiva, este enfoque dio lugar a una rama fundamental de la ciencia: la Química Analítica, que en sus inicios fue considerada un arte, definido como “el arte de reconocer diferentes sustancias y determinar sus componentes”. Con el tiempo, este campo evolucionó hacia un cuerpo sistemático de conocimientos y técnicas, consolidándose como una herramienta indispensable para la investigación científica, el control de calidad y la protección ambiental¹

La Química Analítica es la rama de la química dedicada al estudio, desarrollo y perfeccionamiento de métodos y herramientas orientadas a la caracterización de los compuestos presentes en una muestra. Se trata de una ciencia que permite analizar una sustancia desde sus propiedades fundamentales, denominadas analitos. El objetivo no es únicamente cuantificar el analito, sino evaluar alguna de sus propiedades específicas, como el pH, la absorbancia, la concentración o cualquier otra característica relevante. De esta manera, la Química Analítica constituye la base para obtener información precisa y confiable sobre la composición y el comportamiento de las sustancias en distintos contextos de investigación y aplicación.

En muchos aspectos la química analítica es la base en que se apoyan otras ramas de la química. Las reacciones químicas se estudian a través de los cambios cualitativos y cuantitativos a que dan lugar: por análisis se identifican compuestos nuevos; las leyes de las proporciones definidas y de las proporciones múltiples se descubrieron mediante el estudio de las relaciones cuantitativas en la combinación de los elementos para formar compuestos; la ley de Faraday es la expresión de la relación cuantitativa entre la cantidad de electricidad y el cambio químico con ella asociado; y lo mismo podría decirse de todas las leyes de la química. Aunque la química analítica constituye una rama ya antigua de la química, ha tenido lugar un desarrollo rapidísimo de nuevos métodos de análisis a lo largo del tiempo hasta la actualidad.

Este desarrollo ha sido motivado en gran parte por las necesidades inherentes a la rápida expansión de la economía industrial y también al desarrollo intenso de programas de investigación en diversos campos. El análisis cuantitativo es indispensable en una amplia variedad de operaciones técnicas y comerciales: agricultura, alimentos, medicamentos, minería, metalurgia, suministro de aguas, aprovechamiento de desperdicios, productos manufacturados de variedad casi infinita, etc.¹

La química analítica se divide en dos principales ramas, la cualitativa y la cuantitativa. En el análisis cualitativo, se realiza la búsqueda e identificación de los componentes que constituyen la muestra que se analiza. En el análisis cuantitativo, se determinan las cantidades de uno o varios de los analitos de una muestra.

3.1.1 Química analítica cualitativa.

El análisis cualitativo es una rama de la Química Analítica orientada a la identificación de las especies químicas presentes en una muestra, sin necesidad de determinar su cantidad. Su objetivo principal es reconocer qué sustancias forman parte de un sistema, lo que constituye la base para posteriores estudios cuantitativos o aplicaciones prácticas en diversos campos de la química

El análisis cualitativo tiene por objeto la identificación y combinación aproximada de los constituyentes de una muestra dada. La muestra en cuestión puede ser un puro elemento o una sustancia químicamente pura o cualquier mezcla posible. En el desarrollo de un análisis cualitativo no solamente se llega a demostrar la presencia de determinados constituyentes, sino que puede también obtenerse una aproximación relativa de las cantidades de cada una de ellos en la muestra tomada. La precisión de estas cantidades es el objeto del Análisis Cuantitativo.²

3.1.2 Química analítica cuantitativo

El análisis cuantitativo en química es un método utilizado por los científicos para determinar las cantidades específicas de diversas sustancias en una muestra. A diferencia del análisis cualitativo, que identifica los tipos de moléculas presentes, el análisis cuantitativo se centra en medir las cantidades precisas de dichas moléculas.³

El análisis cuantitativo comprende un conjunto de métodos destinados a determinar la cantidad de una sustancia presente en una muestra, constituyendo una herramienta esencial para la

investigación científica, el control de calidad y la regulación en múltiples áreas de la química. Entre los métodos clásicos se incluyen la gravimetría, que puede realizarse tanto por precipitación como por volatilización, y la volumetría, que abarca diversas técnicas de titulación basadas en reacciones ácido-base, redox, de precipitación o de formación de complejos. A estos se suman los métodos instrumentales modernos, como la espectroscopía, la cromatografía y la electroquímica, que permiten obtener resultados más sensibles, rápidos y confiables, ampliando el alcance del análisis químico hacia sistemas cada vez más complejos y diversas aplicaciones.³

3.2 Matriz suelo

La matriz suelo se entiende como el conjunto de muestras que tienen relación directa con el medio edáfico y sus derivados. No se limita únicamente al suelo agrícola, sino que abarca una diversidad de materiales que comparten origen, composición o interacción con el ambiente terrestre.

Como ejemplo tenemos los siguientes:

- Suelos: Incluyen distintos tipos (arenosos, arcillosos, limosos, franco-arenosos, etc.), cada uno con propiedades físico-químicas que condicionan la metodología analítica.
- Rocas: Son materiales parentales del suelo; su análisis permite comprender procesos de meteorización y la disponibilidad de minerales que luego influyen en la fertilidad.
- Sedimentos: Se originan por procesos de erosión y transporte; su estudio es clave para evaluar contaminación, dinámica de nutrientes y estabilidad ambiental.
- Abonos orgánicos: Aunque son insumos agrícolas, se consideran dentro de la matriz porque se integran al suelo y modifican sus características químicas y biológicas.
- Otros materiales asociados: Pueden incluir mezclas o residuos que, al interactuar con el suelo, forman parte de su dinámica analítica.

3.2.1 Suelos

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Es una capa delgada que se ha formado muy lentamente, a través de los siglos, con la desintegración de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios de temperatura y el viento.

Los plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo.⁴

- Tipos de suelo.

- Suelos arenosos: Estos son sueltos y se trabajan con facilidad, pero los surcos se desmoronan y el agua se infiltra rápidamente. Tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas.
- Suelos limosos: tienen gránulos de tamaño intermedio, son pesados y con pocos nutrientes.¹
- Suelos arcillosos: están formados por partículas muy pequeñas. Son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Al secarse se endurecen y forman terrones.
- Suelos francos: son mezclas de arena, limo y arcilla. Son fértiles y al secarse forman pequeños terrones que se deshacen.⁴

Las propiedades químicas del suelo dependen de la proporción de los distintos minerales y sustancias orgánicas que lo componen. La materia orgánica siempre contiene carbono, oxígeno e hidrógeno, además de otros elementos. Al despedazar y descomponer las plantas y animales muertos, los microorganismos liberan los nutrientes permitiendo que puedan ser utilizados nuevamente. Las propiedades físicas y químicas del suelo, unidas a los factores climáticos, determinan los vegetales y animales que pueden desarrollarse y la forma en que se debe cultivar la tierra.⁴

3.2.2 Sedimentos

Se llama sedimento al material en transporte (suspensión, solución, tracción o saltación) o recientemente depositado; tiene fundamentalmente un significado dinámico, de material en movimiento que no ha llegado a lograr su estabilidad física completa.⁵

- Tipos de sedimento

Insolubles: Fragmentos de roca, minerales (cuarzo, feldespatos, etc.) y minerales arcillosos. Dentro de esta clasificación podemos encontrar a un solo tipo:

- Sedimentos siliciclásticos (terrígenos o detríticos): Son fragmentos de roca o minerales sólidos, derivados de la erosión de una masa continental manteniéndose durante toda su evolución como partículas sólidas, los cuales son transportados por algún agente. Representan el residuo de una compleja historia de procesos, pudiendo haber sufrido algunos cambios químicos o mineralógicos.⁵

Solubles: minerales precipitados a partir de materiales en solución acuosa. Dentro de esta clasificación podemos encontrar a 2 tipos:

- Sedimentos aloquímicos: los sedimentos aloquímicos son aquellos que se forman a partir de granos carbonáticos transportados y depositados en la cuenca de sedimentación, como bioclastos, oolitos, peloides e intraclastos. Se diferencian de los ortoquímicos porque no precipitan directamente en el lugar, sino que son partículas generadas y luego acumuladas en el sedimento como oolitas, peloides, pellets, etc, de composición calcárea.
- Sedimentos ortoquímicos: materiales formados por precipitación química o bioquímica directamente en el lugar de su depósito (in situ), como la micrita y el cemento en las calizas, o minerales autigénicos que cristalizan dentro del sedimento a diferencia de los aloquímicos que se forman en otro lugar y son transportados brevemente.⁵

El análisis de los sedimentos es esencial porque permite comprender procesos naturales y evaluar impactos ambientales.⁵

Entre los aspectos más relevantes para su estudio se pueden considerar:

- Formación de suelos: son la base de la fertilidad agrícola, aportando minerales y materia orgánica.
- Registro ambiental: conservan fósiles, contaminantes y señales químicas que permiten estudiar el clima y la evolución de ecosistemas.
- Procesos geológicos: intervienen en la formación de rocas sedimentarias y en la dinámica de ríos, lagos y mares.
- Protección de ecosistemas: regulan la calidad del agua y sirven de hábitat para organismos acuáticos.

- Aplicaciones prácticas: se analizan en ingeniería civil, minería y estudios ambientales para evaluar estabilidad de terrenos y contaminación.

3.2.3 Abonos orgánicos

Un abono orgánico es todo material de origen natural que tenga propiedades fertilizantes o de mejoramiento de suelo, que no es obtenido por síntesis química. La agricultura orgánica promueve su uso por los múltiples beneficios a nivel físico, químico, microbiológico y orgánico, dando beneficios al suelo y a la planta, también tiene ciertas desventajas, una de ellas es que no muestran resultados inmediatos o a corto plazo; sin embargo, a mediano y largo plazo se establece un equilibrio en los nutrimentos del suelo, aumentando su fertilidad sin necesidad de incorporar insumos externos.⁶

- Tipos de abonos orgánicos.

Los abonos orgánicos se clasifican principalmente en tres grandes grupos: de origen animal (estiércol, guano, compost de residuos animales), de origen vegetal (compost, humus de lombriz, restos de cosechas, algas) y de origen mixto o mineral natural (fosfatos naturales, cenizas, harina de hueso). Cada tipo aporta nutrientes distintos y mejora la fertilidad del suelo de manera sostenible.

- Abonos de origen animal: Incluyen estiércol de ganado, aves o caballos, guano y harinas de sangre o hueso; aportan principalmente nitrógeno, fósforo y potasio, además de materia orgánica que mejora la estructura del suelo, aunque requieren compostaje previo para evitar patógenos y olores.
- Abonos de origen vegetal: Comprenden compost elaborado con restos de cosechas, humus de lombriz, residuos vegetales y algas; se caracterizan por liberar nutrientes de forma gradual, estimular la microbiota del suelo y mejorar su capacidad de retención de agua, siendo muy útiles para mantener la fertilidad a largo plazo.
- Abonos de origen mixto o mineral natural: Incluyen fosfatos naturales, cenizas de madera y harina de hueso; aportan principalmente fósforo, potasio y calcio, corrigen deficiencias específicas y ayudan a equilibrar el pH del suelo, aunque no suelen contener nitrógeno y su liberación de nutrientes es más lenta.

3.3 Pretratamiento

En los análisis de laboratorio, el tratamiento y pretratamiento de muestras son pasos que influyen directamente en la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. Las muestras generalmente se recolectan después de una planificación que tiene en cuenta las condiciones físicas y ambientales, el muestreo, las repeticiones y otros procedimientos que requiere la metodología. No obstante, si las muestras no pueden ser analizadas inmediatamente después del muestreo o dependiendo del tipo de análisis a realizar, se debe realizar un pre-tratamiento.⁶

El pretratamiento de muestras constituye una fase esencial dentro del proceso analítico, ya que garantiza que el material recolectado se encuentre en condiciones óptimas para su posterior tratamiento o análisis directo. Esta etapa busca preservar la representatividad de la muestra, minimizar interferencias y asegurar la estabilidad de los analitos frente a factores externos.

El pretratamiento de muestras se refiere a los procedimientos iniciales aplicados a una muestra antes del análisis principal, que generalmente involucran métodos físicos. Estos procedimientos pueden incluir procesos tales como lavado, tamizado, refrigeración, homogeneización, molienda, secado, filtración, agitación magnética, disolución y centrifugación, entre otros. El objetivo del pretratamiento es preparar adecuadamente la muestra, asegurando que se encuentra en las condiciones ideales para su posterior tratamiento o análisis directo. Este paso es crucial para minimizar interferencias, preservar la integridad de los analitos y garantizar la representatividad de la muestra frente a las condiciones originales del muestreo.

3.3.3 Etapas del pretratamiento

En términos generales, el pretratamiento comprende varias fases interrelacionadas que permiten transformar la muestra bruta en un material homogéneo, estable y apto para ser sometido a técnicas instrumentales o químicas específicas.⁷

- Lavado: puede ser necesario lavar las muestras para eliminar los contaminantes superficiales o que interfieren. Este proceso es común en análisis que requieren muestras puras. El lavado se puede realizar con solventes apropiados o soluciones tampón, dependiendo de la naturaleza de los contaminantes.

- La homogenización: es un proceso fundamental para garantizar la uniformidad de la muestra. Además de los homogeneizadores, se utilizan técnicas como agitación y molido para distribuir uniformemente los componentes dentro de la muestra. La importancia de la homogenización es garantizar que todas las partes de la muestra representen el mismo contenido, lo cual es esencial para obtener resultados analíticos precisos.
- El molido: Es el proceso de reducir el tamaño de las partículas de una muestra, facilitando la homogeneización y extracción de analitos. El molido es crucial en análisis químicos y físicos que requieren partículas de tamaño uniforme.
- El tamizado: utiliza para separar partículas según su tamaño. Este método es particularmente útil para analizar suelos, minerales y otros materiales particulados. Se utilizan tamices con diferentes mallas para obtener una distribución de tamaño de partícula específica.

La elección del pretratamiento depende del tipo de muestra (sólida, líquida, semisólida), del analito de interés (nutrientes, metales, contaminantes orgánicos), y del método analítico que se aplicará posteriormente (gravimetría, espectrofotometría, cromatografía, etc.). Por ejemplo, en muestras de suelos, el tamizado y el molido permiten obtener una fracción homogénea y representativa; en muestras líquidas, la refrigeración y la filtración evitan la degradación de compuestos sensibles; y en muestras orgánicas, la disolución y centrifugación facilitan la separación de fases y la concentración de analitos.

El pretratamiento debe realizarse bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y tiempo, siguiendo protocolos estandarizados para evitar pérdidas, contaminación cruzada o alteraciones químicas. En contextos institucionales, como laboratorios de análisis ambiental o agrícola, estos procedimientos deben estar respaldados por normativas técnicas (ej. ISO 11464 para suelos, AOAC para alimentos) y documentarse adecuadamente en hojas de trabajo o registros de laboratorio.⁸

CAPÍTULO IV

4.0 PRODUCTO FINAL

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



MANUAL DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EL ANÁLISIS DE
SUELOS, SEDIMENTOS Y ABONOS ORGÁNICOS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

Ciudad Universitaria, 4 de marzo de 2026

INDICE DE CONTENIDOS

PRETRATAMIENTOS DE SUELOS	3
PRETRATAMIENTOS DE SEDIMENTOS	6
PRETRATAMIENTOS DE ABONOS ORGÁNICOS.....	8
ANALISIS FISICOQUIMICO DE SUELOS-SEDIMENTOS-ABONOS ORGÁNICOS.....	13
Determinación de pH.....	¡Error! Marcador no definido.
Determinación de Nitrógeno	17
Determinación de Conductividad Eléctrica.....	23
Determinación de Fósforo (P) Método Colorimétrico	26
Determinación de Aluminio Intercambiable	31
Determinación de Ca + Mg	35
Determinación de Mg	40
DETERMINACION DE MINERALES.....	43
Preparación de la solución de cenizas para determinación de minerales (Solubilización).....	44
Digestión de muestras líquidas (acuosas) para la determinación de minerales.	47
Extracción de minerales asimilables en muestras de suelos, con Carolina del Norte. ¡Error! Marcador no definido.	
Determinación de minerales por AA-Llama (Fe, Na, K, Cu, Zn, Ca, Mg, Ni, Mn, Cd, Pb) ¡Error! Marcador no definido.	
Determinación de metales pesados por AA-Llama (Mg, Ni, Mn, Cd, Pb)	58
Determinación de minerales por AA-Llama (Ca, Mg).....	60
Preparación de soluciones Estándar de Ca y Mg partiendo de stock de 100 ppm (Resumen) ¡Error! Marcador no definido.	
Resumen de parámetros de lectura de minerales en AA-Llama (Fe, Na, K, Cu, Zn, Ni, Mn, Ca, Mg, Cd, Pb).....	¡Error! Marcador no definido.
Determinación de minerales por AA-Horno (Pb, Cd, Ni, Cr, Mn)	64
Parámetros para lectura de minerales en AA-Horno (Pb, Cd, Ni, Cr, Mn). ¡Error! Marcador no definido.	
Determinación de minerales por AA-GH (As).....	¡Error! Marcador no definido.
Preparación de soluciones Estándar partiendo de stock de 100 ppb. ¡Error! Marcador no definido.	
Parámetros para lectura de minerales en AA-GH (As)	69

**PRETRATAMIENTOS DE SUELOS, SEDIMENTOS Y ABONOS
ORGÁNICOS**

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 1	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

PRETRATAMIENTOS DE SUELOS, SEDIMENTOS Y ABONOS ORGÁNICOS

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes de error
8. Referencias

1- Alcance:

El pretratamiento está diseñado para aplicarse a muestras de diversa naturaleza, incluyendo suelos agrícolas y otros sistemas naturales o modificados, sedimentos provenientes de cuerpos de agua naturales (ríos, lagos, embalses) o sistemas artificiales, así como abonos orgánicos de origen vegetal y animal. Su objetivo es garantizar condiciones óptimas para el análisis físico-químico, cuantitativo y cualitativo, mediante etapas que aseguren la representatividad, homogeneidad y estabilidad de los parámetros a evaluar. Se contempla el acondicionamiento de las muestras desde su recolección en campo hasta su disposición en laboratorio, bajo condiciones controladas y de acuerdo con protocolos específicos establecidos para cada tipo de estudio.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 2	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

2- Fundamento:

El pretratamiento de muestras es una etapa esencial en los análisis de laboratorio, mediante procedimientos mecánicos, manuales y el uso de equipos especializados se transforma la matriz en un material estable, homogéneo y representativo. La limpieza inicial permite retirar materiales extraños como raíces, piedras o restos orgánicos mediante separación manual o tamizado, evitando interferencias en los resultados.


La reducción y homogenización del tamaño de partícula, realizada con molinos, morteros o trituración manual, incrementa la superficie específica y asegura una distribución uniforme, condición indispensable para obtener datos reproducibles. Finalmente, la preservación de las características físico-químicas se logra con la disminución controlada de la humedad, ya sea en estufas de secado, hornos a baja temperatura o por aireación, previniendo reacciones indeseadas y la pérdida de compuestos volátiles.

3- Responsable:

Analista, docente o encargado del análisis.

4- Materiales y equipos:

- Estufa de aire circulante.
- Bandejas de plástico.
- Rodillo de madera.
- Licuadora industrial.
- Molino de cuchillas.
- Bolsas herméticas con cierre zip.
- Tamiz 40-50 mesh (diversos según análisis).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 3	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Bolsas herméticas con cierre zip.
- Tubo Falcon de 50 mL.

5- Reactivos

N/A

6- Procedimientos:

SUELOS:

Se considera suelo cuando el material presenta estructura definida, o bien es una mezcla de fracciones minerales y orgánicas, el cual proviene de áreas con o sin vegetación, y existe un interés agrícola.

Se detalla el proceso del pretratamiento en 3 etapas principales:

a) Secado:

- Extender la muestra de suelo de manera homogénea sobre una bandeja plastica limpia y previamente identificada.
- Introducir la bandeja en una estufa de aire circulante, ajustada a una temperatura controlada de 30–40 °C, durante un período aproximado de 5 horas, hasta lograr la eliminación de la humedad libre presente en la muestra. El secado también puede ser al ambiente, dejando la bandeja en un lugar expuesto al aire y a la temperatura ambiente, pero protegido del polvo y la humedad
- Retirar la bandeja y dejar enfriar a temperatura ambiente para luego continuar con la siguiente etapa.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 4	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Nota: Para la **determinación de nitrógeno en suelos** es fundamental controlar la temperatura de secado de la muestra.

El nitrógeno, en sus formas amoniacales y nítricas, puede volatilizarse o transformarse químicamente si se expone a temperaturas elevadas, lo que ocasiona pérdidas y resultados subestimados.

Para este análisis se recomienda el secado al ambiente.

b) Micronizado:

Este procedimiento se realiza sobre la muestra previamente secada:

- Utilizar la misma bandeja metálica en la que se secó la muestra.
- Extender la muestra seca de suelo de manera uniforme sobre la superficie de la bandeja.
- Pasar un rodillo de madera limpio y adecuado sobre la muestra, ejerciendo presión controlada. Repetir el proceso varias veces hasta lograr la trituration fina y homogénea.
- Observar que la muestra presente una textura pulverizada, sin grumos visibles.
- Transferir cuidadosamente la muestra triturada a una bolsa hermética con cierre zip limpia y etiquetado.
- Conservar en un lugar limpio y seco.


Nota:

- Retirar acumulaciones que dificulten el triturado homogéneo.
- Si se observan rocas o restos de material orgánico, deberá eliminarse o extraerse.

c) Tamizado:

Este procedimiento se realiza sobre la muestra previamente micronizada:

- Seleccionar un tamiz completamente seco, con un tamaño según el análisis a realizar.
- Verificar que esté libre de residuos y correctamente identificado.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 5	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026


- Transferir la muestra micronizada al tamiz en porciones moderadas.
- Agitar suavemente el tamiz con movimientos circulares o de vaivén.
- Continuar hasta que la fracción fina atraviese completamente la malla.
- Recoger el suelo que pasó por el tamiz en un recipiente limpio y etiquetado.

La fracción fina obtenida constituirá la muestra pretratada, lista para análisis físicos, químicos y/o microbiológico. Se separan diversas fracciones de partícula de acuerdo con el tamaño requerido para análisis específicos, por ejemplo, para materia orgánica se utiliza un tamaño de partícula entre 40-50 mesh.

Nota:

Evitar sobrecargar el tamiz para facilitar el paso homogéneo del material.

Si se desea determinar metales pesado, asegurarse de utilizar un tamiz plástico o de un material que no interfiera con la determinación.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 6	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

SEDIMENTOS:

Se consideran sedimentos cuando provienen de procesos de transporte y deposición de partículas, presentan acumulación estable en el medio acuático y conservan características representativas de su entorno, lo que permite su análisis físico-químico o biológico.

Para el desarrollo de los pre tratamientos se considerarán dos tipos de sedimentos: secos y húmedos.

Los **sedimentos secos** son aquellos con estructura sólida y bajo porcentaje de humedad, semejantes a los sedimentos de lago que suelen encontrarse escurridos y compactos.

Los **sedimentos húmedos** presentan exceso de agua, con una textura semisólida o líquida muy densa, como ocurre en los sedimentos de manglar que prácticamente constituyen un charco fangoso saturado de humedad y materia orgánica.

A continuación, se describe su proceso de pretratamiento:


a) Disgregación inicial y secado controlado

Para sedimento seco

- La muestra deberá someterse a una reducción mecánica manual, rompiendo los agregados grandes para facilitar la homogenización.
- Se deberá homogenizar la muestra para asegurar una distribución uniforme de partículas.

Para sedimento húmedo:

- Se dejará evaporar al ambiente o en estufa a 40 °C durante 24–48 horas, dependiendo de la cantidad de humedad presente.
- **Nota:** Se deberá evitar el uso de temperaturas superiores que puedan alterar compuestos sensibles.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 7	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

b) Trituración de agregados


- Una vez seca, los agregados o partículas de grano grueso deberán romperse cuidadosamente en una bandeja plástica, con la ayuda de un rodillo de madera.

Nota: Los fragmentos de roca deberán descartarse utilizando un colador o tamiz grueso.

c) Tamizado de la fracción fina

- La muestra triturada deberá pasarse por tamiz (según la fracción requerida)
- Se deberá obtener una fracción fina homogénea del sedimento.

La fracción fina obtenida constituirá la muestra pretratada, lista para análisis físicos, químicos y/o microbiológicos. Se separan diversas fracciones de partícula de acuerdo con el tamaño requerido para análisis específicos.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 8	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

ABONOS ORGÁNICOS:

Los abonos orgánicos pueden obtenerse a partir de procesos de descomposición, fermentación o transformación de residuos orgánicos,

Existen 2 tipos de abonos orgánicos


De origen animal: incluyen estiércoles de bovinos, porcinos, aves y otros animales. Se caracterizan por su alto contenido de nitrógeno, fósforo y micronutrientes, aunque requieren estabilización para evitar patógenos y olores.

De origen vegetal: algunos ejemplos son el compost, bokashi, los bio fermentos, y los abonos verdes. Aportan carbono orgánico, potasio y fibra vegetal, mejorando la estructura y composición del suelo.

A continuación, se describe su proceso de pretratamiento:

ABONO ORGÁNICO DE ORIGEN VEGETAL.

- **Secado inicial**
- Inicialmente se extiende la muestra a pretratar en una bandeja de plástico
- Se coloca a secar a temperatura ambiente o en estufa de aire circulante a 40–60 °C para evitar la pérdida de compuestos volátiles. El objetivo es reducir la humedad y estabilizar la muestra. El secado también puede ser al ambiente, dejando la bandeja en un lugar expuesto al aire y a la temperatura ambiente, pero protegido del polvo y la humedad

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 9	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026


- **Molido y tamizado.**
- Se coloca la muestra en un molino de cuchillas o en una licuadora industrial para reducir el tamaño de partícula.
- Agrega en pequeñas porciones para asegurar una trituration uniforme.
- Recibir la muestra previamente micronizada en una bolsa hermética, previamente identificada.
- Seleccionar un tamiz completamente seco, con un tamaño según el análisis a realizar.
- Verificar que esté libre de residuos y correctamente identificado.
- Transferir la muestra micronizada al tamiz en porciones moderadas.
- Agitar suavemente el tamiz con movimientos circulares o de vaivén.
- Continuar hasta que la fracción fina atraviese completamente la malla.

Nota:

Teniendo en cuenta que la muestra contiene componentes que no es posible moler o micronizar con ayuda del rodillo de madera, y que no se pueden descartar porque son parte representativa y de interés de análisis de la muestra, es necesario utilizar un molino de cuchillas, una licuadora industrial, molido manual o con mortero y pistilo.

Evitar sobrecargar el tamiz para facilitar el paso homogéneo del material.

La **fracción fina de abono orgánico animal** obtenida constituirá la muestra pretratada, lista para análisis físicos, químicos y/o microbiológicos. Se separan diversas fracciones de partícula de acuerdo con el tamaño requerido para análisis específicos

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 10	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

ABONO ORGÁNICO DE ORIGEN ANIMAL.

a) Secado inicial

- Colocar la muestra en bandejas plásticas o metálicas resistentes a la corrosión, distribuyendo el material en capas delgadas para favorecer la pérdida de humedad.
- Secar en estufa de aire circulante a 40 °C, ajustando el tiempo según la humedad inicial.

NOTA: Evitar temperaturas superiores a 40 °C para no degradar compuestos nitrogenados (urea, aminoácidos) ni afectar el microbiota residual que pueda ser objeto de análisis.

En el caso de los abonos de origen animal se evita en lo posible el secado al ambiente, ya que generalmente, este tipo de abonos desprende olores desagradables, por lo que el secado en estufa es la mejor opción.


b) Trituración de agregados

- Una vez seca parcialmente, desintegrar los grumos compactos con rodillo de madera o mortero plástico, evitando el uso de metales que puedan introducir contaminantes.
- Pasar la muestra triturada por un tamiz adecuado (según el tipo de análisis requerido).
- Obtener una fracción fina homogénea, representativa del abono.

Nota:

Retirar manualmente restos de materiales extraños que puedan alterar la homogeneidad de la muestra.

En análisis microbiológicos, el tamizado debe hacerse en condiciones asépticas para evitar contaminación externa.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 11	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

La **fracción fina de abono orgánico animal** constituirá la muestra pretratada lista para análisis físicos, químicos y/o microbiológicos. Se separan diversas fracciones de partícula de acuerdo con el tamaño requerido para análisis específicos


7- Causas o fuentes de error

- El uso de temperaturas demasiado altas (>40–60 °C) pueden volatilizar compuestos orgánicos o alterar minerales.
- Secado insuficiente que deja humedad residual y afecta el peso o las reacciones posteriores.
- En el proceso de tamizaje se debe garantizar que el tamiz no contenga partículas de las muestras procesadas anteriormente. Los tamices deben ser lavados y secados después de cada uso, además deben agitarse vigorosamente para remover las partículas sobrantes, que quedan atrapadas en el marco del tamiz; si se observa que los orificios del tamiz están obstruidos por partículas, emplear una brocha o un cepillo de cerdas suaves para extraerlas, tomando las precauciones necesarias para no dañar el tamiz. Esta práctica asegura la integridad de la muestra.
- Evitar el uso de materiales metálicos ya que estos materiales pueden liberar trazas de metales por desgaste, corrosión o lixiviación, contaminando la muestra y elevando artificialmente las concentraciones medidas; además, pueden generar interferencias espectrales en técnicas como AA (Espectroscopia de absorción atómica) y alterar la muestra por lo que se recomienda emplear exclusivamente materiales inertes como plásticos.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 12	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

8- Referencias

- AOAC International. Official methods of analysis. 21st ed. Rockville (MD): AOAC International; 2019.
- ASTM International. ASTM D3976-92 (Reapproved 2015). *Standard practice for preparation of sediment samples for chemical analysis*. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2015.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. *Instructivo: Preparación de suelos y sedimentos para análisis*. Versión 2. Bogotá (Colombia): IDEAM; 2017.
- ISO. Soil quality — Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. ISO 11464:1994. Geneva: International Organization for Standardization; 1994.
- INIA. Abonos orgánicos: procedimientos para análisis. Maracay (VE): Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas; 2015.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 13	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELOS, SEDIMENTOS Y ABONOS ORGÁNICOS

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 14	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de pH

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes de error
8. Referencias

1. Alcance

El método es aplicable a cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico.

2. Fundamento del método

Se prepara una suspensión de suelo seco a $40^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ y $<2 \text{ mm}$, con agua en una proporción muestra:agua de 1:2 y en el sobrenadante se determina el valor del pH-H₂O, con un medidor de pH.

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

4. Materiales y Equipos

- Beacker de 50 mL
- pHmetro
- Pizeta plástica

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 15	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

5. Reactivos

N/A

6. Procedimiento

- Pesar en un recipiente: 20 g (exactitud 1 g) de muestra seca a $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ y con tamaño de partícula $< 2\text{ mm}$.
- Agregar 50 ml de agua a una temperatura entre 20°C y 25°C .
- Agitar vigorosamente la suspensión durante 5 minutos usando el agitador.
- Calibrar el medidor de pH siguiendo las instrucciones del fabricante y usando las soluciones tampones, de pH 4.00, pH 7.00 y una de pH 10.00 dependiendo del rango de pH de las muestras.
- Si los electrodos no cuentan con termo compensador, medir la temperatura de la suspensión y cuidar que no difiera en más de 1°C de la temperatura de las soluciones tampones que deben estar a una temperatura de 20°C a 25°C .
- Agitar la suspensión e introducir los electrodos.
- Leer el pH una vez estabilizada la lectura y anotar el valor con dos decimales.

Nota: La lectura puede considerarse estable cuando el pH medido en un período de 5 segundos varía en no más de 0,02 unidades. El tiempo requerido para la estabilización generalmente es de 1 minuto o menos, pero puede depender de numerosos factores, incluyendo:

- El valor del pH (en suelos alcalinos es más difícil alcanzar la estabilización de la lectura del pH).
- La calidad y antigüedad del electrodo de vidrio.
- Las diferencias de pH entre las muestras de una serie.
- La mezcla mecánica de la suspensión antes de la medición de pH puede ayudar a lograr lecturas estables en un menor tiempo.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 16	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Nota: En las muestras con alto contenido de materia orgánica y/o arcilla puede ocurrir el efecto de suspensión. En los suelos calcáreos la suspensión puede adsorber dióxido de carbono. En estas circunstancias y en los suelos con bajos contenidos de sales solubles es difícil alcanzar un pH estable.

7. Causas o fuentes de error:

- La variabilidad en la temperatura, la presencia de sales solubles, carbonatos o compuestos orgánicos en descomposición, así como la liberación de ácidos húmicos, pueden modificar el equilibrio químico de la suspensión y afectar directamente la lectura del pH.
- Los problemas más frecuentes provienen de electrodos mal calibrados, sucios o deshidratados, así como del uso de soluciones tampón contaminadas. Un mantenimiento deficiente del equipo compromete la precisión y estabilidad de las mediciones.
- Errores como realizar lecturas apresuradas sin esperar la estabilización del valor, transcribir incorrectamente los resultados o interpretar de manera inadecuada los distintos métodos de medición (pH en agua, KCl o CaCl₂) son fuentes comunes de desviación que dependen directamente de la atención y rigor del analista.

8. Referencia:

- Sadzawka A., Zagal E. PROTOCOLO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA SUELOS Y LODOS. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Chillán. Chile. 2007. Págs. 19-24
- Moorberg, C. J., & Crouse, D. A. (2021). Manual de laboratorio de suelos. Capítulo 5.2: Acidez del suelo y ajuste del pH del suelo.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 17	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de Nitrógeno

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Cálculos
8. Causas o fuentes de error
9. Referencias

1. Alcance

Este análisis puede ser realizado para cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico, al cual se le desea conocer el contenido de nitrógeno.


2. Fundamento del método

Este método se divide en tres etapas:

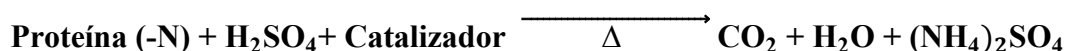
Digestión

Destrucción de la materia orgánica por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente. Este actúa sobre la materia orgánica deshidratándola y carbonizándola.

El carbón es oxidado y el nitrógeno reducido a amoníaco en presencia de reactivos específicos que actúan como catalizadores.

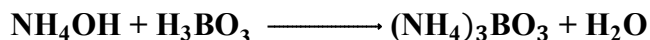
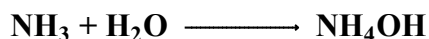
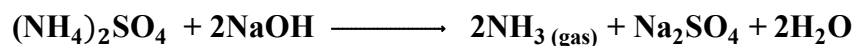
	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 18	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

El amoníaco desprendido queda fijado en el ácido sulfúrico como sulfato de amonio, que es estable en las condiciones de trabajo.



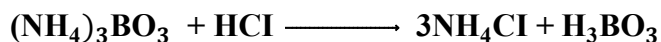
Destilación

Liberación del amoníaco formado, recogiénolo en un volumen conocido de ácido bórico formándose borato de amonio.



Titulación

El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico 0.1 N empleando como indicador una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo.



3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

4. Materiales y Equipos

- Balanza analítica
- Espátula
- Tubos tecator
- Base de tubos tecator

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 19	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Erlenmeyer
- Probeta de 100 mL
- Pizeta
- Digestor
- Destilador
- Bureta o Bureta electrónica
- Agitador magnético
- Magneto

5. Reactivos

Ácido sulfúrico concentrado.

Mezcla de Catalizadores (Sulfato de potasio 7 g + Sulfato de Cobre 0.8 g):

Mezclar 7 g de Sulfato de potasio pulverizado y agregue 0.8 g de sulfato de cobre pulverizado y libre de Selenio. La mezcla debe tener una apariencia Homogénea.

(448.72 g de K y 51.28 g de Cu para 500 g de mezcla)


Nota: Esta mezcla es equivalente a las tabletas KJEL-TAB que se encuentra comercialmente.

Solución de ácido clorhídrico 0.1 N.

Medir volumétricamente 0.83 mL de HCl concentrado, adicionar en un balón de 100.0 mL aproximadamente 25 mL de agua destilada e incorporar el HCl concentrado, llevar a un volumen de 100.0 mL con agua destilada. ***(16.6 mL para 2 L de solución)***

Solución de ácido bórico al 4% + solución de indicadores (verde de bromocresol y rojo de metilo en metanol o alcohol etílico):

Pesar 0.1 gramos de verde de bromocresol y dilúyalos en 100 mL de alcohol etílico (debe macerar esta solución para facilitar su disolución).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 20	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Pese 0.07 g de rojo de metilo y dilúyalos en 70 mL de alcohol etílico (debe macerar esta solución para facilitar su disolución).

Nota: La mezcla se prepara diluyendo 70 ml de la solución de rojo de metilo en los 100 ml de la solución de verde de bromocresol y se lleva a un volumen de 1 litro con agua destilada, en balón volumétrico.

Pesar 200 g de Ácido Bórico y se diluyen con agua destilada 4 L (la mezcla se debe calentar si es necesario para facilitar la disolución. Deje enfriar y lleve a volumen). Luego mezcle con la solución de indicadores preparada para obtener un volumen total de 5 L con agua destilada.

Solución de hidróxido de sodio al 35 %.

Pesar 35 gramos de NaOH en balanza semi-analítica, y disolverlo en agua libre de CO₂ a un volumen de 100 mL.

6. Procedimiento

Digestión

- Pesar entre 0.1 y 0.2 g de muestra y colocarla en un tubo tecator para micro kjeldahl de 250 mL.
- Agregar al tubo, que contiene la muestra pesada:
 - 6.0 mL de ácido sulfúrico concentrado.
 - 3.0 g de la mezcla de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre).
- Agitar suavemente durante 5 minutos ésta mezcla y colocar los tubos en el equipo de digestión Kjeldhal, al mismo tiempo conectar el sistema de extracción de vapores y condensación de gases. Retirar los tubos cuando la solución se torne de color azul o verde (dependiendo del indicador).

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 21	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Destilación

- Dejar enfriar los tubos y agregar aproximadamente 80 mL agua destilada, esperar a que enfrién nuevamente.
- Colocar el tubo en el equipo de destilación.
- En un erlenmeyer de 250 mL colocar 25 mL de la solución de ácido bórico al 4%, más indicadores (verde de bromocresol y rojo de metilo), y colocarlo en el aparato de destilación (solución de color rojo).
- Agregar 60 mL de solución de hidróxido de sodio al 35 %.
- Recibir el destilado en el erlenmeyer de 250 mL el que debe estar en el aparato después de 5 minutos de trabajo del mismo (hasta que complete la destilación se observará un cambio de color del indicador de rojo a verde. Deje enfriar el tubo por 10 a 15 minutos y luego retirarlo).

Titulación

- Titular el destilado obtenido con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta cambio de color del indicador que va de verde a rojo. Y determinar la cantidad de proteína en la muestra.

7. Cálculos

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{Volumen de HCl en mL}) \times N \text{ de HCl} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

0.014= Miliequivalente del nitrógeno.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 22	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

8. Causas o fuentes de error

- En el método Kjeldahl, si la digestión no es completa, parte del nitrógeno orgánico queda sin transformar en amoníaco, generando subestimaciones.
- La presencia de nitratos y nitritos no es detectada por el método Kjeldahl clásico, lo que conduce a valores menores al contenido real de nitrógeno total. En métodos espectroscópicos, la matriz orgánica puede generar interferencias en la señal.
- Los suelos y abonos orgánicos son heterogéneos. Una muestra no representativa puede dar resultados que no reflejan el contenido real de nitrógeno del lote o parcela.

9. Referencias:

- Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). (1970). Official Analytical Chemists- 11th Ed. Washington DC. Published By The Association of Official Chemists.
- Depósitos de Documentos de la FAO (2016, Marzo 13). Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados manual de capacitación. [Online]. Disponible: www.fao.org/docrep/field/003/ab492s/ab492s06.htm
- FOSS. Métodos de procedimientos de análisis e instalación de equipo de digestión y destilación. 2000
- VELP SCIENTIFIC. 2013. Métodos de procedimientos de análisis e instalación de equipo de digestión y destilación
- López Choque, M. A., López Mamani, M. A., & Yujra Ticona, E. (2023). Evaluación de los parámetros de calidad para la determinación de nitrógeno total en suelos. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 23	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de Conductividad Eléctrica

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes de error
8. Referencias

1. Alcance

El método es aplicable a cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico.


2. Fundamento del método

La medición de la conductividad eléctrica está basada en la medición de la resistencia eléctrica entre dos electrodos paralelos inmersos en un extracto acuoso de una muestra previamente seleccionada y tratada.

Este método es aplicable a todos los tipos de suelos. La muestra seca a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y <2 mm de suelo se extrae con agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ en una relación muestra:agua de 1:5 para disolver las sales. En el extracto filtrado se mide la conductividad eléctrica (CE) corregida a 25°C .

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 24	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

4. Materiales y Equipos


-Sonda potenciométrica

5. Reactivos

N/A

6. Procedimiento

- Pesar en un recipiente: 20 g de muestra seca a $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ con tamaño de partícula < 2 mm.
- Agregar 100 ml de agua a una temperatura entre 20°C y 25°C .
- Agitar vigorosamente la suspensión durante 5 minutos usando el agitador.
- Calibrar el conductímetro siguiendo las instrucciones del fabricante y usando la solución de referencia de NaCl de 1000 ppm.
- Si los electrodos no cuentan con termo compensador, medir la temperatura de la suspensión y cuidar que no difiera en más de 1°C de la temperatura de las soluciones tampones que deben estar a una temperatura de 20°C a 25°C .
- Agitar la suspensión e introducir los electrodos.
- Leer la conductividad una vez estabilizada la lectura y anotar el valor con dos decimales.
- Finalmente enjuagar repetidamente el electrodo con agua destilada de modo que no queden restos ni incrustaciones de lodo en la superficie del electrodo.
- Secar con papel absorbente y almacenar adecuadamente.


	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 25	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

7. Causas o fuentes de error:

- La proporción utilizada (1:1, 1:2, 1:5) influye directamente en el valor de CE. Diferentes metodologías generan resultados no comparables si no se estandariza la relación.
- La conductividad eléctrica aumenta con la temperatura. Si no se corrige a 25 °C, se producen errores sistemáticos.
- La presencia de cationes y aniones específicos (Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) puede generar variaciones en la CE dependiendo de su movilidad iónica. Además, la materia orgánica disuelta puede interferir en la lectura.

8. Referencia:

- Sadzawka A., Zagal E. PROTOCOLO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA SUELOS Y LODOS. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Chillán. Chile. 2007. Págs. 19-24
- Cáceres Choque, F., & Luis, L. (2013). Determinación de CE en suelos y sedimentos. Química Analítica Aplicada Inorgánica QMC-613.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 26	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de Fósforo (P) Método Colorimétrico

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Cálculos
8. Causas o fuentes de error
9. Referencias


1. Alcance

El método es aplicable a cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico, al cual se le desea conocer el contenido de fósforo tanto asimilable como total.

2. Fundamento del método

El método de análisis para determinar fósforo consiste en una extracción del elemento con una solución doble ácido, solución de Mehlich o Solución Carolina del Norte. Una vez extraídos los elementos; el fósforo se determina con el método colorimétrico del Vanadato-Molibdato de Amonio.

La coloración amarilla que se desarrolla en esta metodología se debe a la formación del sistema Vanadomolibdofosfórico, al sustituirse los átomos de oxígeno del radical PO_4^{-3} por los radicales oxivanadio y oximolibdeno, para dar un heteropolícompuesto adaptable a muchos medios acidificados.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 27	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

4. Materiales y Equipos

- Espectrofotómetro de luz UV-visible
- Celdas de cuarzo
- Gradillas
- Tubos de ensayo
- Beacker de 50 mL 100 mL
- Descarte
- Micro pipeta
- Puntas para pipeta

5. Reactivos

Solución Molibdato-Vanadato de Amonio.

- **Solución de Molibdato de amonio:** Pesar 60 g de molibdato de amonio tetrahidratado y disolverlos en 900 ml de agua destilada caliente. Luego enfriar y diluir a 1 litro.
- **Solución de Meta-Vanadato de amonio:** Pesar 1.5 g de metavanadato de amonio y diluirlos en 690 ml de agua destilada caliente; luego añadir 300 ml de HNO₃, enfriar y diluir a 1 litro.
- Adicionar gradualmente con agitación, la solución de Molibdato de amonio a la solución de Vanadato de amonio.

NOTA: Almacenar a temperatura ambiente en frascos de polietileno. El reactivo es estable indefinidamente en frascos de polietileno pero si es almacenada en frascos de vidrio gradualmente se forma precipitado después de varios meses. Descartar el reactivo si se forma precipitado.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 28	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

6. Procedimiento

Preparación del blanco

- Agregar en un tubo de ensayo, 5.0 mL de ácido clorhídrico concentrado y 2.0 mL de solución de Molibdato-Vanadato, homogenizar y dejar reposar 30 minutos.
- Colocar esta solución en el Espectrofotómetro de luz UV-visible y leer. El valor obtenido será utilizado para la corrección del valor en la medición de la muestra.

Preparación de soluciones Estándar


- Solución madre de Fósforo (0.5 mg P₂O₅/mL). Disolver 0.2397 g de estándar primario de KH₂PO₄ en agua destilada y llevar a volumen en un balón volumétrico de 250 mL.
- A partir de la solución madre, hacer las diluciones necesarias para obtener soluciones estándar de 5, 10, 15 y 20 ppm, llevar a volumen utilizando agua bidestilada.
- En un tubo de ensayo colocar 5.0 mL de cada estándar por separado y adicionar 2.0 mL de solución de Molibdato-Vanadato. Homogenizar y dejar en reposo 30 minutos.

Muestra

- Pipetear 5.0 mL del filtrado obtenido en la solubilización de cenizas de la muestra a un tubo de ensayo, adicionar 2.0 mL de solución de Molibdato-Vanadato. Homogenizar y dejar en reposo 30 minutos.
- Colocar la muestra en Espectrofotómetro de luz UV-visible y leer.
- En caso de ser necesario, realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

Medición.

- Longitud de onda: 420 nm
- Rango de concentración de curva de calibración: 5 – 20 µg/mL

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 29	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

7. Cálculos

Para calcular la concentración de Fósforo en las muestras utilizar la siguiente fórmula:

Ley de Beer-Lambert:

$$C_{Mx} = \frac{C_{St}(A_{Mx})}{A_{St}(P_{mx}) * 10000} x FD$$

Donde:

C_{Mx} : Concentración de la muestra.

A_{Mx} : Absorbancia de la muestra.

C_{St} : Concentración del estándar.

A_{St} : Absorbancia del estándar.


FD: Factor de Dilución de la muestra.

P_{mx} : Peso de muestra.

10000: Factor de conversión a ppm

8. Causas o fuentes de error

- La presencia de arseniatos, silicatos, hierro y materia orgánica disuelta puede interferir en la formación del complejo coloreado, afectando la intensidad del color.
- Errores en la calibración del equipo, celdas sucias o variaciones en la longitud de onda seleccionada afectan la absorbancia registrada.
- La acidez del medio, el tiempo de reacción y la temperatura influyen en el desarrollo del color. Variaciones en estos parámetros producen resultados inconsistentes.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 30	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

9. Referencia:

- Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). (1970). Official Analytical Chemists- 11th Ed. Washington DC. Published By The Association of Official Chemists.
- Canizalez Amaya, O. E., & Escobar, R. I. (2004). Cuantificación de fósforo en suelos y abonos orgánicos por dos métodos colorimétricos: molibdato azul y fosfovanadomolibdico. Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 31	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de aluminio intercambiable

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Cálculos
8. Referencias

1. Alcance

El método es aplicable a cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico, al cual se le desea conocer el contenido de aluminio intercambiable.

2. Fundamento del método

El principio de la determinación de la acidez intercambiable se basa en el uso de una sal neutra, el Cloruro de potasio 1N, con un ión desplazante (K^+) el cual provoca que los iones de aluminio (Al^{3+}) e hidrógeno (H^+) pasen a la solución, en esta forma el lixiviado se encuentra ácido y puede titularse con una solución básica, de modo que la cantidad de acidez será igual a la cantidad de base usada entre los puntos de neutralización. La titulación se lleva a cabo hasta el extremo alcalino ($pH=9$), usando azul de bromotimol como indicador. El aluminio se acompleja con cloruro de potasio, liberándose una cantidad equivalente de iones hidrógenos, los cuales son valorados con hidróxido de sodio 0.01N.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 32	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

4. Materiales y Equipos

- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Bureta
- Erlenmeyer de 125 mL
- Papel filtro

5. Reactivos

KCl 1N

- Para una solución al 1N, pesar 74.55 g de KCl en balanza analítica, disolver con 500 mL de agua, y llevar a volumen en un balón volumetrico de 1 L.
- Homogenizar

Azul de bromotimol

- Pesar 0.1 g del reactivo en balanza analítica, disolver en 100 mL de etanol al 95% o en una mezcla etanol/agua.
- Ajustar el pH cercano a 7.0 con unas gotas de NaOH al 0.01N para obtener la coloración azul característica.
- NOTA: Este indicador es útil en el rango de pH 6.0–7.6, por lo que será necesario medir el pH con apoyo de papel pH o papel tornasol.

-NaOH 0.01N

- Pesar 0.4 g de NaOH en balanza analítica, disolver en 100 ml de agua destilada y llevar a volumen en un balón volumétrico de 1 L.
- Homogenizar

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 33	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

6. Procedimiento

Extracción

- Pesar 2.5 g de muestra en balanza analítica.
 - Agregar 25 mL de cloruro de potasio 1 N.
 - Agitar durante 5 minutos con agitador magnético.
 - Filtrar por gravedad usando papel whatman # 1.
- Nota:** Este filtrado se puede utilizar para la determinación de calcio más magnesio.
- Pipetear 10 mL del filtrado.
 - Añadir 10 mL de agua destilada y 0.5 mL de azul de bromotimol (10 gotas aproximadamente).
 - Titular con hidróxido de sodio 0.01 N.
 - Cambio de coloración de amarillo a azul.


7. Cálculos

$$\text{Meq. Al}/2.5\text{g de suelo} = \frac{\text{mL NaOH } 0.01\text{N} \times N(\text{NaOH}) \times 25 \text{ mL}}{10 \text{ mL}}$$

Relacionar Meq. Al/2.5 g de suelo; para 100 g de suelo


8. Causas o fuentes de error

- El secado excesivo, la contaminación cruzada o la pérdida de humedad pueden modificar la disponibilidad de Al^{3+} en la fase intercambiable.
- El tipo de extractante influye en la cantidad de aluminio liberado. Una extracción incompleta o no estandarizada genera subestimaciones.
- En métodos colorimétricos, el complejo Al-reactivo puede degradarse con el tiempo o por exposición a la luz, afectando la absorbancia.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 34	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

9. Referencias:

- Sadzawka A., Zagal E. PROTOCOLO DE MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA SUELOS Y LODOS. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía, Chillán. Chile. 2007. Págs. 19-24.
- Clemente Durán, A. R. (2024). Determinación de aluminio intercambiable en suelos. Universidad Nacional Agraria de la Selva, curso EDAFOLOGÍA II. Studocu.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 35	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de Ca + Mg (dureza) método volumétrico

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Cálculos
8. Causas o fuentes de error
9. Referencias

1. Alcance

Este análisis puede ser realizado para cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico al cual se le desea conocer la concentración de Ca + Mg.

2. Fundamento del método

El total de iones calcio y magnesio disueltos en una muestra de solución de suelo se titulan con solución de EDTA. Esta reacciona primero con los iones Ca^{+2} libres, luego con los iones Mg^{+2} libres y por último con el Mg^{+2} presente en el complejo que forma este ion con el indicador Negro de Eriocromo (NET), que es un ácido tribásico que forma complejos solubles coloreados con los iones calcio y magnesio. Los complejos de Mg^{+2} que forma son más estables que los de Ca^{+2} .

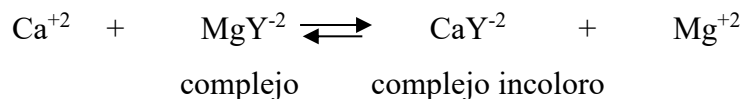
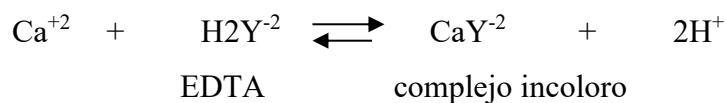
La solución de muestra se regula a un pH 10 ± 0.1 para tener un compromiso entre la estabilidad de los quelatos (la estabilidad del quelato con EDTA es mayor al aumentar el pH) y la necesidad de evitar la precipitación de los iones metálicos como $\text{CaCO}_3(\text{s})$ y $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s})$ que se analiza.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 36	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

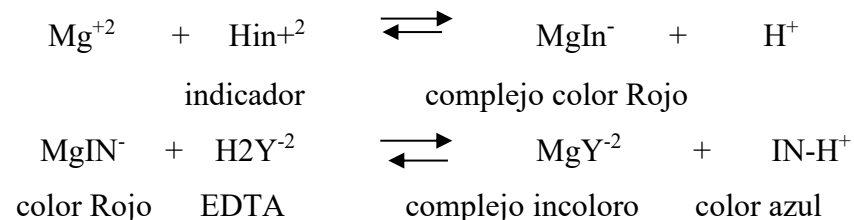
En esta valoración se utiliza una solución amortiguadora o reguladora de amoníaco para evitar la precipitación de otros iones metálicos ya que el amoníaco puede formar con ellos complejos débiles.

REACCIONES:

TITULACIÓN:



PUNTO FINAL:



3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

4. Materiales y Equipos

- Pipeta volumétrica de 40.0 o 50.0 mL
- Beacker de 50 mL

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 37	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Bureta
- Probeta de 10 ml
- Beaker de 100 ml


5. Reactivos

Solución Estándar de EDTA 0.01M.

- Pesar 2 gramos de $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ previamente secado a 80°C durante 2 horas.
- Agregar 0.05 g de cloruro de magnesio con 6 moléculas de agua.
- Transferir a un frasco volumétrico de 500 mL, añadir aproximadamente 400 mL de agua destilada y agitar hasta que se disuelva el EDTA.
- El EDTA se disuelve lentamente y el proceso puede durar media hora o más. De ser posible, la solución debe dejarse reposar toda la noche antes de usarla.
- Aforar y agitar.
- Guardar en frasco de polietileno previamente lavado con pequeñas porciones de EDTA. NOTA: No almacenar en recipiente de vidrio debido a que las soluciones de EDTA hacen que se desprendan gradualmente los iones metálicos del vidrio, provocando un cambio en la concentración del EDTA libre.
- Calcular la molaridad del EDTA por titulación con solución estándar del calcio.

Solución Estándar de Calcio 1 ml. = 1 mg. de CaCO_3 .

- Pesar 1.0 gramos de CaCO_3 previamente secado durante toda la noche a 105°C .
- Colocar en un Erlenmeyer de 500 mL y añadir por medio de un embudo HCl concentrado hasta que se disuelva todo el CaCO_3 .
- Transferir cuantitativamente a un frasco volumétrico de 1000 mL.
- Aforar, rotular y guardar.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 38	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Solución reguladora o tampón de cloruro de amonio más hidróxido de amonio.

Disolver 16.9 g. de NH_4Cl en 143 ml de NH_4OH concentrado, diluir a 250 mL con agua destilada. Es conveniente guardar la solución en frascos de polietileno para evitar que se desprendan iones metálicos del vidrio.

Indicador negro de eriocromo T. Al 0.5% P/V.

Disolver 0.5 gramos de negro eriocromo T y 4.5 g. de cloruro de hidroxilamina en 100 ml. de alcohol etílico al 95%. (Se agrega cloruro de hidroxilamina para reducir el Cu (II) a Cu (I) y que no interfiera). **NOTA:** Esta solución debe prepararse de nuevo transcurridos unos cuantos días porque es inestable.

6. Procedimiento

- En balanza semianalítica pesar 20 gramos de suelo, colocarlo en un beaker de 250 ml, agregar una pequeña porción de carbón activado.
- Por medio de una bureta añadir 100 mL de solución extractora de cloruro de potasio. Agitar durante cinco minutos en el agitador eléctrico.
- Filtrar a través de papel filtro Whatman N°. 1, recogiendo el filtrado en un beaker limpio.
- Medir con pipeta volumétrica 20 o 25 mL de filtrado y colocarlo en un erlenmeyer de 125 mL
- Agregar 6 mL de solución buffer cloruro de amonio – hidróxido de amonio.
- Añadir 6 gotas de indicador NET y valorar con solución de EDTA hasta cambio de color del indicador. **(color azul)**
- Calcular el contenido de calcio más magnesio

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 39	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

7. Cálculos:


$$\text{Meq Ca}^+ \text{ Mg}/100 \text{ g. de suelo} = \frac{\text{mL EDTA} \times \text{M.EDTA} \times 100 \times \text{ml. de sol extractora}}{\text{mL alícuota} \times \text{peso de muestra de suelo}}$$

8. Causas o fuentes de error

- El tipo de extractante influye en la cantidad de Ca y Mg liberados. Una extracción incompleta o no estandarizada genera subestimaciones.
- Errores en la calibración de buretas, espectrofotómetros o equipos de absorción atómica provocan desviaciones sistemáticas en los resultados.
- En métodos volumétricos, una mala preparación de soluciones estándar o indicadores puede generar errores.

9. Referencia:

- JACKSON, M. L. 1970. Análisis Químico de Suelos. Trad. Por José Beltrán Martínez, 2ª. Ed. Barcelona, España, Omega.
- CHAPMAN, B. HOMER, D. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Agua.
- JENKINS. 1993. Química del agua, Manual de laboratorio, Limusa, México.
- WALKER, J.1991. Métodos de Análisis de agua. Universidad de Massachussets. EE. UU.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 40	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de Mg

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes de error
8. Referencias

1. Alcance

Este análisis puede ser realizado para cualquier tipo de suelo, sedimento u abono orgánico al cual se le desea conocer la concentración de Ca + Mg.

2. Fundamento del método

El calcio se valora con EDTA en medio fuertemente alcalino pH 12. En estas condiciones el magnesio presente se precipita como hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$, y no interfiere en la valoración del calcio. El indicador metalocrómico que se usa es la murexida o purpurato de amonio (sal amónica de la purpurina) que forma con el calcio en medio alcalino un color rosado que al final de la valoración cambia a púrpura.

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 41	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

4. Materiales y Equipos

- Pipeta volumétrico de 40.0 o 50.0 mL
- Beacker de 50 mL
- Bureta

5. Reactivos

- **Solución valorada de EDTA 0.01M.**
- **Solución de NaOH 1M.** o bien una solución que contenga 40 g. NaOH/litro.
- **Indicador murexida o purpurato de amonio.**
 - Se mezcla 0.50 g de purpurato de amonio con 100 gramos de Na₂SO₄ en polvo y se pasa después por un tamiz de 40 – 50 mesh.

6. Procedimiento

- Medir 25 mL de filtrado de la solución de suelo obtenida en el procedimiento anterior.
- Agregar 3 mL de solución de hidróxido de sodio 1M para obtener el pH apropiado.
- Agitar y añadir una pequeña porción de indicador murexida.
- Valorar con solución de EDTA hasta cambio de color del indicador. **(color violeta)**

7. Cálculos:

$$\text{Meq Ca/100 g. suelo} = \frac{\text{mL EDTA gastados} \times \text{Molaridad} \times 100 \times \text{mL de solución extractora}}{\text{mL alícuota} \times \text{peso de muestra de suelo}}$$

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 42	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Matemáticamente se puede encontrar los miliequivalentes de magnesio presentes en la muestra, para esto se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Meq. Mg /100 g. de suelo} = (\text{Meq. Ca} + \text{Mg /100 g. suelo}) - (\text{Meq Ca /100 g. suelo})$$

8. Causas o fuentes de error

- El tipo de extractante influye en la cantidad de magnesio liberado. Una extracción incompleta o no estandarizada genera subestimaciones.
- La presencia de otros cationes como Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y Al^{3+} puede competir en el intercambio y alterar la cuantificación del Mg. Además, hierro y manganeso pueden interferir en métodos colorimétricos o espectrofotométricos.
- En métodos volumétricos con EDTA, una mala preparación de soluciones estándar o indicadores puede generar errores.

9. Referencias:

- JACKSON, M. L. 1970. Análisis Químico de Suelos. Trad. Por José Beltrán Martínez, 2ª. Ed. Barcelona, España, Omega.
- CHAPMAN, B. HOMER, D. Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Agua.
- JENKINS. 1993. Química del agua, Manual de laboratorio, Limusa, México.
- WALKER, J.1991. Métodos de Análisis de agua. Universidad de Massachussets. EE. UU.



Manual de Metodologías Analíticas


**Fecha de emisión
4-Marzo-2026**

Fecha de revisión

Fecha de aprobación

Revisión 1-2026

DETERMINACIÓN DE MINERALES

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 44	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Preparación de la solución de cenizas para determinación de minerales (Solubilización).

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Cálculos
8. Causas o fuentes de error
9. Referencias

1. Alcance

Este análisis puede ser realizado para cualquier tipo de alimento, forrajes, ensilados, concentrados, suelos, lodos y cualquier otra matriz sólida de interés en conocer su contenido de minerales.

En el caso de los suelos se determinan minerales totales por este método.

2. Fundamento del método

La ceniza se trata con ácido clorhídrico concentrado y agua destilada. Se agita y calienta cerca del punto de ebullición. Después se filtra a través de un papel filtro libre de cenizas quedando en el filtrado los minerales; y en el papel filtro sílice.

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 45	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

4. Materiales y Equipos


- Crisol
- Balón volumétrico de 100.0 mL
- Agitador de vidrio
- Embudo
- Papel filtro Whatman 42
- Pipeta volumétrica
- Pizeta
- Bureta
- Cámara de extracción de gases
- Hot-plate

5. Reactivos

- Ácido clorhídrico concentrado (calidad AA)
- Agua osmotizada o bidestilada

6. Procedimiento

- Realizar el análisis por duplicado.
- ***IMPORTANTE:** Utilizar agua calidad AA (bidestilada / osmotizada)
- Humedecer la ceniza con agua bidestilada, mediante el uso de una pizeta.
- Adicionar 5.0 mL de ácido clorhídrico calidad AA (mediante el uso de pipeteador múltiple ó bureta).
- Agregar al crisol conteniendo la ceniza 10.0 mL de agua bidestilada (con pipeteador automático).
- Poner el crisol en hot-plate a 90 - 100 °C y evaporar el líquido hasta aproximadamente la mitad, teniendo cuidado de no tener salpicaduras.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 46	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Transcurrido el tiempo, retirar del hot-plate, y enfriar la solución a temperatura ambiente.
- Filtrar la solución, utilizando papel filtro Whatman N° 42, y recibir en balón volumétrico de 100.0 mL.
- Realizar de 2 a 3 lavados en el crisol para arrastrar el contenido.
- Aforar el balón volumétrico con agua bidestilada, rotular y conservar la solución para la determinación de minerales.

***NOTA:** Realizar simultáneamente un blanco, de la misma manera.

***NOTA:** Para minerales totales en suelo seguir el mismo procedimiento.

7. Cálculos

N/A

8. Causas o fuentes de error

- La adición directa de ácido sobre cenizas secas provoca pérdidas por efervescencia violenta y proyecciones.
- Pérdida de muestra por salpicaduras durante la ebullición, especialmente si el calentamiento es brusco o no se controla adecuadamente.
- Si no se purgará el aire del tubo de la pizeta antes de humedecer las cenizas, el soplido inicial proyectará el polvo mineral fuera del crisol.

9. Referencias:

- Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. Method 975.03, *Metals in Plants*.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (9th ed.). Belmont, CA: Brooks/Cole.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 47	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Digestión de muestras líquidas (acuosas) para la determinación de minerales.

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes
8. Referencias

1. Alcance

Este análisis puede ser realizado para cualquier tipo de muestra líquida acuosa a la cual se le desea conocer su contenido de minerales.

2. Fundamento del método

La solución se trata con ácido clorhídrico concentrado y agua destilada. Se agita y calienta cerca del punto de ebullición. Después se filtra a través de un papel filtro libre de cenizas quedando en el filtrado los minerales; y en el papel filtro sílice.

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 48	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

4. Materiales y Equipos

- Beaker de 100 mL
- Balón volumétrico de 100.0 mL
- Agitador de vidrio
- Embudo
- Papel filtro Whatman 42
- Pipeta volumétrica
- Pizeta
- Bureta
- Cámara de extracción de gases
- Hot-plate

5. Reactivos

- Ácido clorhídrico concentrado (calidad AA)
- Agua osmotizada o bidestilada

6. Procedimiento

- Tomar 100.0 mL de muestra, medidos volumétricamente, y transferirlos a un beaker de 250 mL (la alícuota de muestra dependerá de la cantidad recibida)
- Agregar HCl concentrado (al 5% con respecto a la cantidad de la muestra).
- Si la muestra posee sólidos en suspensión deberá adicionarse ácido nítrico en igual proporción al HCl.
- Llevar a ebullición durante 10 minutos, manteniendo el cuidado de no tener pérdidas por salpicaduras.
- Filtrar la solución, utilizando papel filtro Whatman N° 42, y recibir en balón volumétrico de 100.0 mL.
- Realizar de 2 a 3 lavados en el beaker para arrastrar el contenido.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 49	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Aforar el balón volumétrico con agua bidestilada, rotular y conservar la solución para la determinación de minerales.
- ***NOTA:** Realizar simultáneamente un blanco, de la misma manera.

7. Causas o fuentes de error

- Pérdida de muestra por salpicaduras durante la ebullición, especialmente si el calentamiento es brusco o no se controla adecuadamente.
- El uso de ácidos (HNO_3 o HCl) que no sean de calidad AA, introducirá trazas de metales que elevarán falsamente los resultados de la muestra.
- Si no se utilizará papel filtro de grado cuantitativo "libre de cenizas" (como Whatman N° 42), el papel podrá aportar trazas de minerales (especialmente calcio o hierro) a la muestra.

8. Referencias:

- Japan Waterworks Association. (1993). City water testing method (1993 ed). Japan Waterworks Association.
- Japanese Standards Association. (1993). Testing methods for industrial wastewater (JIS K 0102). Japanese Industrial Standards.
- Ministry of the Environment, Japan. (1993). Environmental quality standards for water pollution. Government of Japan.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). Fundamentals of Analytical Chemistry (9th ed.). Belmont, CA: Brooks/Cole.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 50	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Extracción de minerales asimilables en muestras de suelos, con Carolina del Norte.

Contenido

1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes de error
8. Referencias

1. Alcance


Este procedimiento se realiza para los suelos a los cuales se les extraerá los minerales que son asimilables.

2. Fundamento del método

La solución se trata con reactivo carolina del norte. Se agita mecánicamente 10 minutos, se filtra usando carbón activado.

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 51	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

4. Materiales y Equipos

- Agitador mecánico o magnético
- Embudo
- Beacker de 100 mL
- Probeta de 25 mL
- Papel filtro Whatman 42

5. Reactivos

Carbon Darco

Solución extractora:


- Para 1 Litro de solución; medir 0.66 mL de H₂SO₄ concentrado y 4.1 mL de HCl concentrado, y llevar a volumen con agua destilada.

6. Procedimiento

- Pesar aproximadamente 5.0 gramos de muestra de suelo, previamente secado y tamizado.
- Añadir una pequeña porción de carbón Darco.
- Agregar 25 mL de la solución extractora.
- Agitar durante 5 minutos.
- Filtrar la solución con papel filtro Whatman N° 42, conservar y rotular.

7. Causas o fuentes de error

- El método Carolina del Norte utiliza una solución doble ácido (HCl + H₂SO₄). Variaciones en la proporción suelo:solución alteran la cantidad de nutrientes extraídos.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 52	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Un tiempo insuficiente de contacto o una agitación deficiente reducen la eficiencia de la extracción. Excesos pueden solubilizar fracciones no disponibles, sobreestimando resultados.
- Un exceso de carbón Darco puede adsorber parte de los nutrientes (especialmente fósforo), generando subestimaciones. Una cantidad insuficiente puede dejar interferencias orgánicas que afectan la lectura espectrofotométrica.

8. Referencias

- Mehlich, A. (1953). Determination of P, Ca, Mg, K, Na, and NH₄ by North Carolina soil testing laboratories. North Carolina Soil Testing Division. Raleigh, NC.
- Canizalez Amaya, O. E., & Escobar, R. I. (2004). Cuantificación de fósforo en suelos y abonos orgánicos por dos métodos colorimétricos: molibdato azul y fosfovanadomolibdico (Trabajo de graduación, Licenciatura en Química y Farmacia). Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 53	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Análisis del contenido de micronutrientes por el método de espectrofotometría de absorción atómica por llama.

Determinación de minerales por AA-Llama (Fe, Na, K, Cu, Zn, Ca) y metales pesados (Mg, Ni, Mn, Cd, Pb)

Contenido


1. Alcance
2. Fundamento del método
3. Responsable
4. Materiales y equipos
5. Reactivos
6. Procedimiento
7. Causas o fuentes de error
8. Referencias

1. Alcance

Este análisis puede ser realizado para cualquier tipo de suelo, alimento, agua o cualquier otra matriz a la cual se le desea conocer su contenido de minerales asimilables o totales, que previamente han sido digeridas para este fin.

2. Fundamento del método

Al suministrar una determinada cantidad de energía a un átomo cualquiera en estado fundamental (E0), esta es absorbida por el átomo de tal forma que se incrementará el radio de giro de sus electrones de la capa externa llevando al átomo a un nuevo estado energético (E1) o excitado.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 54	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Cuando este vuelve a su estado fundamental cede una cantidad de energía cuantitativamente idéntica a su energía de excitación, emitiendo radiaciones a longitudes de onda determinada. Cuando los átomos en estado fundamental se encuentran con las radiaciones que ellos mismos son capaces de emitir, se produce una absorción de las mismas, pasando los átomos del estado fundamental al excitado. El fenómeno de absorción de radiaciones a determinadas longitudes de onda en el caso particular en que el medio absorbente sean los átomos en estado fundamental, se conoce como espectroscopia de absorción atómica.

3. Responsable

Responsable de Laboratorio de Química Agrícola

4. Materiales y Equipos

- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Balones volumétricos (según aplique dilución)
- Micropipeta
- Puntas para pipeta
- Pipeta pasteur
- Beacker de 100 mL
- Descarte
- Pizeta plástica

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 55	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

5. Reactivos

- HCl concentrado
- Agua osmotizada/bidestilada
- Soluciones estándar Fe, Na, K, Cu, Zn, Ca, Mg.

6. Procedimiento

Preparación de soluciones Estándar

- A partir de una solución madre de 1000 ppm preparar una solución stock de 40 ppm para preparar la curva de calibración.
- A partir de la solución stock, hacer las diluciones necesarias para obtener soluciones estándar, llevar a volumen utilizando agua bidestilada.

Estándares múltiples de Fe, Na, K, Cu, Zn.

- Preparar solución stock de 40 ppm para Fe, Na, K, Cu, Zn partiendo de una solución de 1000 ppm (para cada mineral) de la siguiente manera.
- En un balón volumétrico de 100.0 mL adicionar 4.0 mL de la solución de 1000 ppm, llevar a volumen con agua bidestilada.



Manual de Metodologías Analíticas

Fecha de emisión
4-Marzo-2026


Fecha de revisión

Fecha de aprobación

Revisión 1-2026

Tabla N° 1. Preparación de soluciones Estándar múltiples para Fe, Na, K, Zn y Cu ⁹


Estándar Múltiple 1						Volumen (mL)
Mineral	Fe	Na	K	Cu	Zn	10.0 mL HCl + 200.0 mL
Concentración (ppm)	0.3	0.05	0.1	0.2	0.05	
Alícuota (mL)	1.5	0.25	0.5	1.0	0.25	
Estándar Múltiple 2						Volumen (mL)
Mineral	Fe	Na	K	Cu	Zn	10.0 mL HCl + 200.0 mL
Concentración (ppm)	1.0	0.1	0.25	1.0	0.1	
Alícuota (mL)	5.0	0.5	1.25	5.0	0.5	
Estándar Múltiple 3						Volumen (mL)
Mineral	Fe	Na	K	Cu	Zn	10.0 mL HCl + 200.0 mL
Concentración (ppm)	3.0	0.5	0.5	2.0	0.5	
Alícuota (mL)	15.0	2.5	2.5	10.0	2.5	
Estándar Múltiple 4						Volumen (mL)
Mineral	Fe	Na	K	Cu	Zn	10.0 mL HCl + 200.0 mL
Concentración (ppm)	6.0	1.0	1.0	4.0	1.0	
Alícuota (mL)	30.0	5.0	5.0	20.0	5.0	

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 57	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Tomar la alícuota respectiva para cada estándar y colocarla en un balón de 200 mL, colocar aproximadamente 25 mL de agua bidestilada y adicionar los 10 mL de ácido clorhídrico concentrado (calidad AA) (calidad AA).
- Llevar a volumen con agua bidestilada.
- Homogenizar y rotular. (Guardar en refrigeración; tiempo máximo: 6 meses).

Muestra

- Hacer las diluciones necesarias para que la lectura este dentro de la curva de calibración. La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración del mineral en la muestra sea pequeña.
- Colocar la muestra en equipo de Absorción Atómica y leer.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA		Página 58
	Manual de Metodologías Analíticas		
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de metales pesados por AA-Llama (Mg, Ni, Mn, Cd, Pb)

Procedimiento

Estándares individuales de Ni, Mn, Cd, Pb.

- Preparar una solución stock de 100 ppm para Ni, Mn, Cd, Pb partiendo de una solución de 1000 ppm (para cada mineral) de la siguiente manera.
- En un balón volumétrico de 200.0 mL adicionar 20.0 mL de la solución de 1000 ppm, llevar a volumen con agua bidestilada.

Tabla N° 2. Preparación de soluciones Estándar individuales para Ni, Mn, Cd y Pb ⁹

Estándares de Ni					Volumen (mL)
Concentración (ppm)	0.2	0.5	3.0	5.0	+5.0 mL HCl 100.0 mL
Alícuota (mL)	0.2	0.5	3.0	5.0	
Estándares de Mn					Volumen (mL)
Concentración (ppm)	0.2	0.5	1.0	3.0	+5.0 mL HCl 100.0 mL
Alícuota (mL)	0.2	0.5	1.0	3.0	



Manual de Metodologías Analíticas

Fecha de emisión
4-Marzo-2026

Fecha de revisión

Fecha de aprobación

Revisión 1-2026

Estándares de Cd					Volumen (mL)
Concentración (ppm)	0.25	0.5	1.0	2.0	+5.0 mL HCl 100.0 mL
Alícuota (mL)	0.25	0.5	1.0	2.0	
Estándares de Pb					Volumen (mL)
Concentración (ppm)	0.2	0.5	3.0	5.0	+5.0 mL HCl 100.0 mL
Alícuota (mL)	0.2	0.5	3.0	5.0	

- Posterior a la toma de la alícuota respectiva colocar aproximadamente 25 mL de agua bidestilada y adicionar 5 mL de ácido clorhídrico concentrado (calidad AA).
- Llevar a volumen con agua bidestilada.
- Homogenizar y rotular. (Guardar en refrigeración; tiempo máximo: 6 meses).

Muestra

- Hacer las diluciones necesarias para que la lectura este dentro de la curva de calibración. La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración del mineral en la muestra sea pequeña.
- Colocar la muestra en equipo de absorción atómica y leer.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 60	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de minerales por AA-Llama (Ca, Mg)

Procedimiento

Preparación de soluciones Estándar

- A partir de una solución madre de 1000 ppm preparar una solución stock de 100 ppm para preparar la curva de calibración.
- Adicionar 6 mL de solución de cloruro de lantano
- Llevar a volumen con agua bidestilada.

Preparación de una solución stock de 100 ppm para Ca y Mg, partiendo de una solución de 1000 ppm (por cada mineral).

- En un balón volumétrico de 100.0 mL adicionar 10.0 mL de la solución de 1000 ppm
- llevar a volumen con agua bidestilada.

Preparación de Cloruro de Lantano 50g / L

- Disolver 67 g de Cloruro de Lantano agregando HCl (1 + 1) poco a poco para ello.
- Llevar a volumen de 500 mL con Agua bidestilada.

HCl (1 + 1)

- Medir cantidades equivalentes de HCl concentrado y agua bidestilada.



Manual de Metodologías Analíticas

Fecha de emisión
4-Marzo-2026

Fecha de revisión

Fecha de aprobación

Revisión 1-2026

Tabla 3. Preparación de soluciones Estándar de Ca y Mg ⁹

Estándar Múltiple 1			Volumen (mL)
Mineral	Ca	Mg	+ 10.0 mL HCl, 12 mL LaCl ₃ 200.0mL
Concentración (ppm)	0.6	0.2	
Alícuota (mL)	0.6	0.2	
Estándar Múltiple 1			Volumen (mL)
Mineral	Ca	Mg	+ 10.0 mL HCl, 12 mL LaCl ₃ 200.0mL
Concentración (ppm)	2.0	0.50	
Alícuota (mL)	2.0	0.50	
Estándar Múltiple 1			Volumen (mL)
Mineral	Ca	Mg	+ 10.0 mL HCl, 12 mL LaCl ₃ 200.0mL
Concentración (ppm)	6.0	1.0	
Alícuota (mL)	6.0	1.0	
Estándar Múltiple 1			Volumen (mL)
Mineral	Ca	Mg	+ 10.0 mL HCl, 12 mL LaCl ₃ 200.0mL
Concentración (ppm)	12.0	2.0	
Alícuota (mL)	12.0	2.0	

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 62	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

- Posterior a la toma de la alícuota respectiva colocar aproximadamente 25 mL de agua bidestilada y adicionar 10 mL de ácido clorhídrico concentrado (calidad AA).
- Adicionar 6.0 mL de solución de cloruro de lantano
- Llevar a volumen con agua bidestilada.
- Homogenizar y rotular. (Guardar en refrigeración; tiempo máximo: 6 meses).

Muestra

- Hacer las diluciones necesarias para que la lectura este dentro de la curva de calibración.
- La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración del mineral en la muestra sea pequeña.
- Adicionar solución cloruro de lantano en relación de 6 mL por cada 100 mL de dilución de la muestra a preparar.
- Colocar la muestra en equipo de absorción atómica y leer.

Tabla 4. Parámetros de repetición en equipo

	Número de repeticiones	Máximo de repeticiones	%RSD
Blanco	2	3	5
Estándar	2	3	5
Muestra	2	3	5

Fuente: Elaboración propia



Manual de Metodologías Analíticas

Fecha de emisión
4-Marzo-2026

Fecha de revisión

Fecha de aprobación

Revisión 1-2026


Tabla 5. Parámetros de lectura de minerales en AA-Llama ⁷

Mineral	Curva de calibración (ppm)	Longitud de onda (nm)	Corriente de Lámpara (mA)	Flujo de gas combustible (L/min)
Fe	(0.3 – 1.0 – 3.0 – 6.0)	248.3	10	2.2
Na	(0.05 – 0.1 – 0.5 – 1.0)	589.0	11	1.8
K	(0.1 – 0.25 – 0.5 – 1.0)	766.5	11	2.0
Cu	(0.2 – 1.0 – 2.0 – 4.0)	324.8	4	1.8
Zn	(0.05 – 0.1 – 0.5 – 1.0)	213.9	8	2.0
Ni	(0.2 – 0.5 – 3.0 – 5.0)	232.0	12	1.6
Mn	(0.2 – 0.5 – 1.0 – 3.0)	279.5	10	2.0
Ca	(0.3 – 1.0 – 3.0 – 6.0)	422.7	15	2.0
Mg	(0.1 – 0.25 – 0.5 – 1.0)	285.0	5	1.8
Cd	(0.25 – 0.5 – 1.0 – 2.0)	228.8	7	1.8
Pb	(0.1 – 0.5 – 3.0 – 5.0)	283.3	8	2.0

Tabla 6. Parámetros de atomizado en equipo

	tiempo
Tiempo de pre atomizado	5 seg
Tiempo de integración	5 seg

Fuente: Elaboración propia

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 64	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de minerales por AA-Horno (Pb, Cd, Ni, Cr, Mn)

Procedimiento

Preparación de soluciones Estándar

- A partir de una solución madre de 1000 ppm preparar una solución stock, necesaria para preparar la curva de calibración.
- Llevar a volumen utilizando agua bidestilada.

Muestra

- Hacer las diluciones necesarias para que la lectura este dentro de la curva de calibración.
- La muestra tratada puede ser utilizada directamente en caso de que la concentración del mineral en la muestra sea pequeña.
- Colocar la muestra en equipo de Absorción Atómica y leer.



Manual de Metodologías Analíticas

Fecha de emisión
4-Marzo-2026

Fecha de revisión

Fecha de aprobación

Revisión 1-2026

Tabla 7. Parámetros para lectura de minerales en AA-Horno ⁶

Mineral	R1	R2	R3	R4	Curva de calibración (ppb)	Longitud de onda (nm)	Corriente de Lámpara (mA)
Pb	Agua	Std 40 ppb	Nitrato de Paladio	HNO ₃ (1+1)	(2.0 – 5.0 – 10.0 – 20.0)	283.3	8
Cd	Agua	Std 5 ppb	Nitrato de Paladio	HNO ₃ (1+1)	(0.2 – 0.5 – 1.0 – 2.0)	228.3	30
Ni	Agua	Std 40 ppb	-	-	(2.0 – 5.0 – 10.0 – 20.0)	232.0	12
Cr	Agua	Std 40 ppb	NH ₄ Cl al 4%	-	(1.0 – 3.0 – 5.0 – 10.0)	357.9	15
Mn	Agua	Std 40 ppb	NH ₄ Cl al 4%	-	(2.0 – 5.0 – 7.0 – 10.0)	279.5	10

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 66	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Para 40 ppb:

- De la solución madre de 1000 ppm (1000000 ppb) hacer una stock de 1 L de 1000 ppb, tomando 1 mL de la madre, luego para la de 40 ppb tomar 10 mL de la stock y llevarlo a 250 mL. (ver esquema de dilución)

Esquema de dilución.

1,000,000 ppb (solución madre)

1.0 mL -----→ 1,000 mL (1,000 ppb)

10.0 mL ----→250.0 mL (40 ppb)

Para 5 ppb: De la solución madre de 1000 ppm (1000000 ppb) hacer una stock de 1 L de 1000 ppb, tomando 1 mL de la madre, luego para la de 5 ppb tomar 1.25mL de la stock y llevarlo a 250 mL. (ver esquema de dilución)

Esquema de dilución.

1,000,000 ppb (madre)

1.0 mL -----→ 1,000 mL (1,000 ppb)

1.25 mL ----→250.0 mL (5 ppb)

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 67	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Determinación de minerales por AA-GH (As)

Reactivos

NaBH₄ (0.5 % p/v):

- Disolver 2.5 gramos de NaBH₄ en 500 mL de NaOH 0.1 M.
- Se debe preparar en cada determinación. ***(250 mL para cada 60 muestras)***

HCl 1 + 1:

- Mezclar en cantidades iguales H₂O bidestilada y HCl concentrado.

Solución de KI (200 g/L):

- Disolver 200.0 gramos de KI en agua.
- Llevar a volumen de 100mL con H₂O bidestilada.
- **NOTA:** Se debe preparar en cada determinación.

NaOH (0.1M):

- Disolver 2.0 gramos de NaOH en 100 mL de H₂O bidestilada.
- Llevar a volumen de 500 mL.

Estándar 100 ppb de As.

- Partiendo de una solución estándar de 1000 ppm (1,000,000 ppb), hacer un estándar intermedio de 10,000 ppb tomando 10 mL de este y llevarlo a 1 L.
- Posterior a esto, partiendo de la solución al 10,000 ppb, tomar una alícuota de 2.5 mL y llevarla a un volumen de 250.0 mL.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRICOLA	Página 68	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

Nitrato de paladio (10 µg Pd / mL).

- Disolver 0.108 g de nitrato de paladio en 10 mL de ácido nítrico (1+1) y después llevar a 500 mL con agua.
- Transferir 20 mL de la solución anterior a un frasco de 200 mL y llevar a volumen con agua destilada.

Procedimiento

Preparación de soluciones estándar partiendo de stock de 100 ppb.

- En balones volumétricos de 50.0 mL adicionar:
 - 0.25 mL para 0.5 ppb
 - 0.50 mL para 1.0 ppb
 - 1.00 mL para 2.0 ppb
 - 2.50 mL para 5.0 ppb
- A cada balón adicionar 4.0 mL de HCL (1+1) y 2.0 mL de KI.
- Llevar a cabo una digestión a ± 85 °C durante 30 minutos, teniendo el cuidado de que no ebulle.
- Enfriar la solución.
- Llevar a volumen con agua bidestilada.

Muestra

- En balón volumétrico de 50.0 mL adicionar 10.0 mL de la muestra tratada (digestión húmeda ó digestión seca)
- Al balón adicionar 1.0 mL de HCL (1+1) y 2.0 mL de KI.
- Llevar a cabo una digestión a ± 85 °C durante 30 minutos, teniendo el cuidado de que no ebulle.
- Enfriar la solución.
- Llevar a volumen con agua bidestilada.


	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 69	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026


Tabla 8. Parámetros para lectura de minerales en AA-GH

Mineral	Solución estándar Stock	Curva de calibración (ppb)	Longitud de onda (nm)	Corriente de Lámpara (mA)
As	100 ppb	(0.5 – 1.0 - 2.0 – 5.0)	193.7	10

Fuente: Elaboración propia

7. Causas o fuentes de error

- Se emplea digestión húmeda (ácido nítrico + ácido perclórico o mezcla HNO₃/HCl) o digestión seca en mufla seguida de disolución ácida. Una digestión incompleta genera subestimaciones de elementos como Fe, Zn, Cu o Mn.
- Tras la digestión, el extracto se transfiere a un balón volumétrico limpio. Es fundamental respetar el volumen final, ya que cualquier error en el aforo altera directamente la concentración calculada.
- El uso de sales impuras o agua no desionizada introduce contaminantes que alteran la concentración real. También es frecuente el error en la pesada de las sales metálicas, ya sea por balanzas mal calibradas o por no considerar la humedad higroscópica en compuestos como el cloruro de calcio, lo que conduce a subestimaciones.
- La alineación incorrecta de la lámpara de cátodo hueco, el deterioro de la lámpara o la falta de mantenimiento del equipo afectan la precisión de las mediciones.

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA	Página 70	
Manual de Metodologías Analíticas			
Fecha de emisión 4-Marzo-2026	Fecha de revisión	Fecha de aprobación	Revisión 1-2026

8. Referencias.

- Association of Official Analytical Chemists. (1980). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (13th ed., p. 365). Washington, DC: AOAC.
- Japan Waterworks Association. (1993). City water testing method (1993 ed.). Tokyo: Japan Waterworks Association.
- Japanese Standards Association. (1993). Japanese Industrial Standard JIS K-102-1993. Tokyo: JSA.
- Japanese Standards Association. (1993). Testing methods for industrial waste water. Tokyo: JSA.
- Ediger, R. D. (1975). AA analysis with the graphite furnace using matrix modification. Atomic Absorption Newsletter, 14, 127–130.
- Cruz, R. B., & Van Loon, J. C. (1974). A critical study of graphite furnace non-flame AAS for the determination of trace base metals in complex heavy matrix sample solutions. *Analytica Chimica Acta*, 72, 231–243.
- Price, W. J. (1979). Spectrochemical analysis by atomic absorption. London: Heyden.
- Maesen, F. J. M., Balke, J., & Masee, R. (1970). *Spectrochimica Acta*. Elsevier.
- Cruz, R. B., & Van Loon, J. C. (1974). A critical study of graphite furnace non-flame AAS for the determination of trace base metals in complex heavy matrix sample solutions. *Analytica Chimica Acta*, 72, 231–243.

CAPITULO V

5.0 CONCLUSIONES

1. La recopilación y sistematización de información sobre referencias técnicas y actualizadas, bibliografía especializada y literatura científica pertinente, permitió identificar y diferenciar las metodologías analíticas para el análisis de suelos, sedimentos y abonos orgánicos, asegurando su validez y coherencia con los objetivos de análisis.
2. El diseño del manual, con la inclusión de los pretratamientos específicos, lineamientos actualizados y metodologías descritas paso a paso, garantiza la claridad y reproducibilidad en el desarrollo de los análisis de la matriz suelos.
3. El manual de métodos analíticos constituye un aporte institucional que estructuró y organizó las metodologías aplicadas en el laboratorio del Departamento de Química Agrícola. Su elaboración garantiza la disponibilidad de un recurso técnico y didáctico que fortalece la formación del personal del laboratorio y su implementación oficial y actualización periódica son esenciales para garantizar la calidad en el análisis de la matriz suelo

CAPITULO VI

6.0 RECOMENDACIONES

1. Al Departamento de Química Agrícola fortalecer la difusión y capacitación sobre el uso del manual de métodos analíticos, asegurando que los usuarios lo apliquen de manera uniforme en los laboratorios para garantizar la estandarización de los procesos y resultados.
2. A los docentes responsables integrar el manual como recurso didáctico en las prácticas de laboratorio, promoviendo su consulta constante y fomentando la formación técnica del personal y de los estudiantes en la correcta preparación y análisis de muestras de suelos, sedimentos y abonos orgánicos.
3. A los estudiantes y practicantes aplicar de manera rigurosa los protocolos y criterios de pretratamiento establecidos en el manual, desarrollando disciplina técnica y habilidades analíticas que aseguren resultados reproducibles y confiables, fortaleciendo así su formación profesional.
4. A la Facultad de Ciencias Agronómicas evaluar de forma periódica la implementación del manual en los laboratorios, identificando oportunidades de mejora y retroalimentando el documento con experiencias reales que fortalezcan su utilidad académica y profesional, así como consolidar el manual como documento institucional de referencia, asegurando su disponibilidad en los laboratorios y promoviendo su uso en proyectos de investigación y extensión, con el objetivo de fortalecer la calidad académica y respaldar el cumplimiento de normativas vigentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernan IM. Tipos de suelo: clasificación, características y usos [Internet]. Tienda Agroindustrial; 2026 [citado 2026 abr 27]. Disponible en: <https://ingenieroagroindustrial.com/tipos-de-suelo/>
2. Instituto Europeo de Química, Física y Biología. ¿Qué es la química analítica y qué estudia? [Internet]. 2022 [citado 2026 abr 27]. Disponible en: <https://ieqfb.com/quimica-analitica-aplicaciones-estudiar/>
3. Harris D, Charles L. Quantitative chemical analysis. 11a ed. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: W.H. Freeman; 2025.
4. La Estructura del Suelo y su Clasificación [Internet]. CSR Laboratorio. 2022 [citado el 27 de abril de 2026]. Disponible en: <https://csrlaboratorio.es/suelos/horizontes-estructura-clasificacion/>
5. Hansen G. Rocas Sedimentarias (Sedimentary Rocks). Abdo Kids Jumbo; 2020. Centro de Investigaciones Agronómicas.
6. Espinosa Ortega M. Manual para producción de abonos orgánicos. Editorial Academica Espanola; 2023.
7. Skoog DA. Principios de analisis instrumental - 5b: Edicion. McGraw-Hill Companies; 2001.
8. La importancia del tratamiento de muestras en la calidad de los resultados analiticos [Internet]. Tecnal [citado el 27 de abril de 2026]. Disponible en: https://tecnal.com.br/es/blog/425_la_importancia_del_tratamiento_de_muestras_en_la_calidad_de_los_resultados_analiticos
9. Association Of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the aoac. 13a ed. Association of Official Analytical Chemist; 1985.