



Del campo al laboratorio: la calidad en los análisis de suelos

Francisco Javier López-González¹,
Omar Cástor Ponce-García²,
Libia Iris Trejo-Téllez¹,
Sandra Mendoza-Araujo³,
*Erwin Saúl Navarrete-Saldaña⁴

¹Posgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Delicias, Delicias, Chihuahua, México. C. P. 33000

³Laboratorio de Calidad e Inocuidad SIASA LAB, Área de Análisis Elemental. Camino Real de Carretas 192, Col. Milenio III, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. C. P. 76060

⁴Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56264

*Autor de correspondencia: navarrete.erwin@colpos.mx

Un análisis de suelos confiable es fundamental para tomar decisiones acertadas sobre la nutrición de los cultivos, mejorar la productividad agrícola y proteger el medio ambiente. Para garantizar resultados precisos, los laboratorios aplican sistemas de aseguramiento y control de la calidad que supervisan cada etapa del proceso analítico. Entre estas prácticas se incluyen el uso de métodos estandarizados, materiales de referencia trazables a un organismo reconocido, equipos analíticos incorporados a un programa de calibración y/o verificación, muestras de control y ejercicios de comparación entre laboratorios. Además, un muestreo adecuado y personal capacitado son fundamentales para que los resultados reflejen las condiciones reales del suelo. En conjunto, estas acciones permiten que las decisiones agrícolas y ambientales se basen en información precisa.

Introducción

El análisis de suelos es una de las herramientas más importantes para la agricultura moderna, ya que permite conocer el estado real del suelo y tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos. Sin embargo, para que estos análisis sean útiles, es indispensable que los resultados sean precisos y reproducibles. Aquí es donde entran en juego el control y el aseguramiento de la calidad, dos procesos que garantizan que la información generada refleje con fidelidad las condiciones del suelo.





Disponer de análisis de suelo bien realizados permite determinar qué nutrientes están potencialmente disponibles, cuáles hacen falta y en qué cantidad deben aplicarse. Esto no solo mejora el rendimiento de los cultivos, también evita el uso excesivo de fertilizantes, lo que se traduce en ahorro económico para el productor y en una menor afectación al medio ambiente. Cuando la fertilización se realiza sin un diagnóstico del suelo adecuado, existe el riesgo de contaminar el suelo, el agua subterránea y los cuerpos de agua cercanos debido al exceso de nutrientes. Imagine un productor que aplica fertilizante nitrogenado cada ciclo agrícola sin realizar previamente un análisis de suelo. Si el suelo ya contiene cantidades suficientes de nitrógeno, la aplicación adicional no solo representa un gasto innecesario, sino que también puede favorecer pérdidas por lixiviación hacia cuerpos de agua cercanos. La presencia de concentraciones elevadas de nitrato en el agua destinada al consumo humano puede representar un riesgo para la salud, especialmente en lactantes y poblaciones vulnerables. Ante esta situación, un análisis de suelo realizado adecuadamente permite ajustar las dosis de fertilización a las necesidades reales del cultivo, optimizando los costos de producción y reduciendo los riesgos ambientales asociados al uso excesivo de fertilizantes.

Para obtener resultados robustos, los laboratorios de análisis de suelos implementan sistemas de control y aseguramiento de la calidad, que supervisan cada etapa del proceso analítico, desde la toma de la muestra hasta la emisión del reporte final. En México, las normativas nacionales establecen lineamientos técnicos que buscan estandarizar los métodos y adaptarlos a las condiciones del país. De forma complementaria, algunos laboratorios siguen estándares internacionales, como la norma ISO/IEC 17025, que evalúa la competencia técnica del laboratorio, la correcta aplicación de los métodos, la calibración de los equipos y la trazabilidad de los resultados.



En México, las normativas nacionales establecen lineamientos técnicos que buscan estandarizar los métodos y adaptarlos a las condiciones del país.





Trazabilidad de la muestra

La confiabilidad de los análisis de suelo inicia con el adecuado manejo de la muestra, desde el momento en que se recolecta en campo. Por ello, es fundamental mantener la trazabilidad de la muestra a lo largo de todo el proceso, desde el muestreo hasta su preparación y almacenamiento en el laboratorio. Esto implica registrar información esencial como el lugar y la fecha de muestreo, el cultivo y la profundidad de muestreo, además de asignar un número de identificación que facilite su manejo durante las etapas posteriores del análisis.

Un aspecto crucial, aunque a menudo subestimado, es el muestreo del suelo y la cadena de custodia de la muestra. Incluso el análisis más preciso pierde validez si la muestra no representa fielmente el terreno de origen, si no se transporta en condiciones adecuadas o si esta no se obtiene utilizando la herramienta correcta. Por ello, seguir protocolos claros para la toma de muestras es esencial. Un muestreo adecuado asegura que los resultados reflejen las condiciones reales del suelo y que las recomendaciones de manejo sean realmente útiles.

Una vez recolectada, mediante el método de muestreo seleccionado, la muestra de suelo se seca al aire, se tamiza, se identifica y se almacena en forma adecuada antes de su procesamiento en el laboratorio (Figura 1).

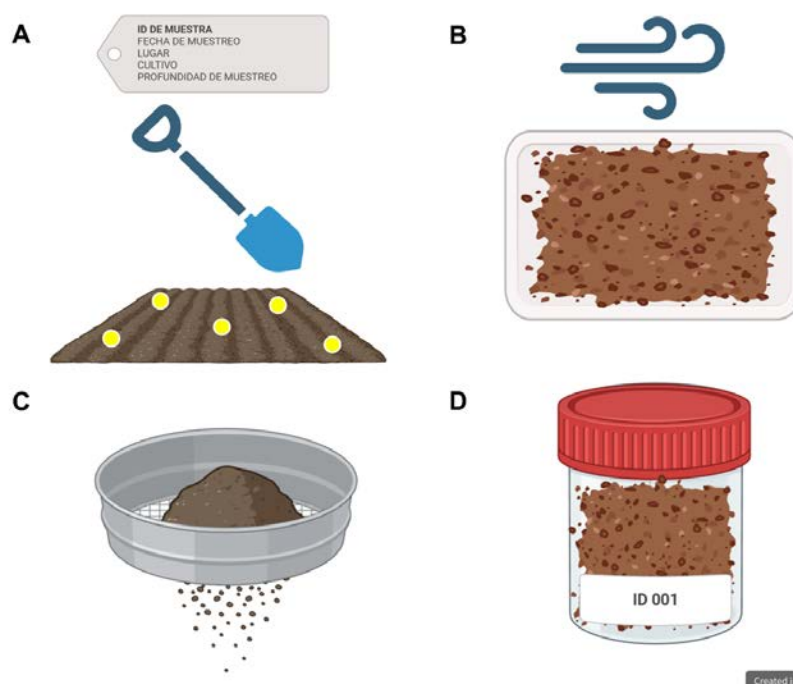


Figura 1. Trazabilidad de la muestra mediante la asignación de un número de identificación (ID), desde el muestreo (A) hasta el secado al aire (B), tamizado (C) y almacenamiento de la muestra (D) para su manejo y análisis correctos.



¿Cómo se analiza una muestra de suelo en el laboratorio?

El análisis de fertilidad del suelo no se limita a la cuantificación de elementos esenciales para las plantas. Incluye la determinación de diversas propiedades físicas y químicas del suelo que determinan la disponibilidad nutrimental, como el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, entre otras. Estas determinaciones, en conjunto, permiten evaluar la condición de fertilidad del suelo y orientar recomendaciones adecuadas, considerando que cada cultivo presenta requerimientos nutrimentales diferentes.

Una vez preparada la muestra, en el laboratorio se aplican diferentes procedimientos para determinar nutrientes y otras propiedades que influyen en su disponibilidad. Por ejemplo, la Figura 2 muestra de manera esquemática algunas etapas del procedimiento utilizado para la determinación de cationes intercambiables.

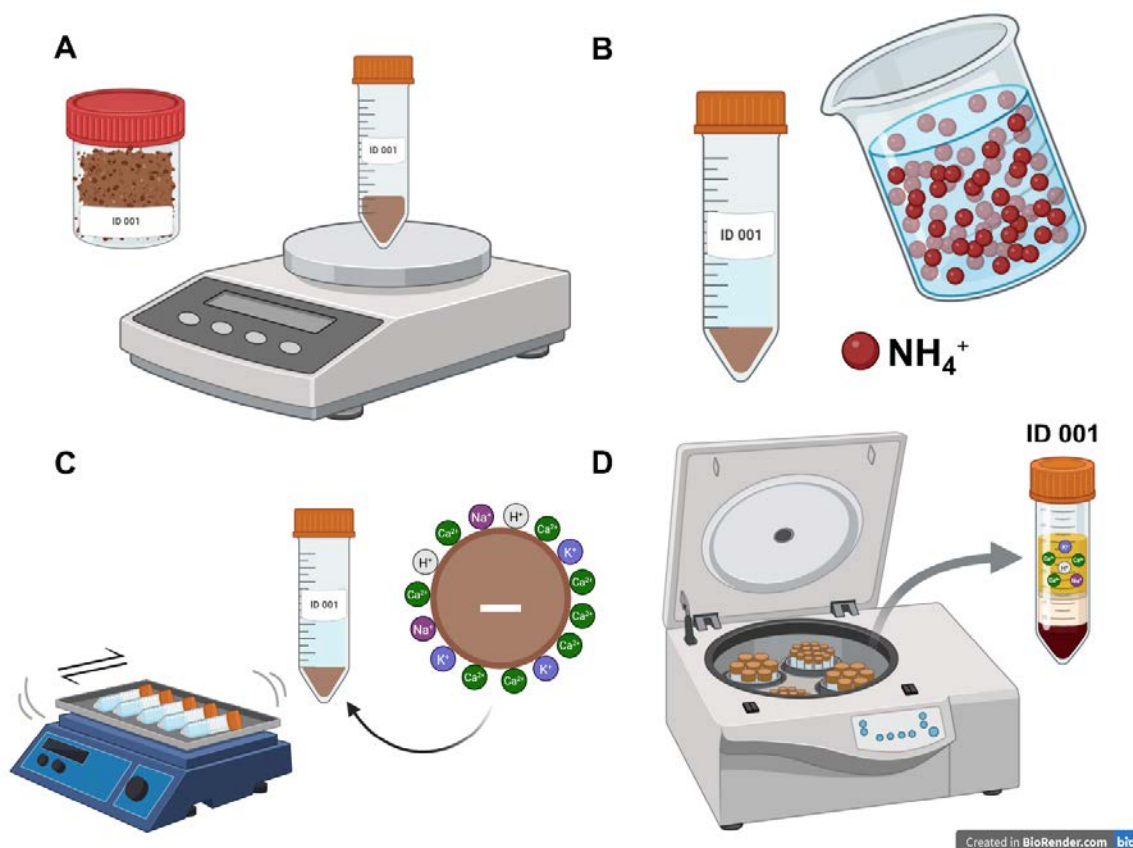


Figura 2. Ejemplo de un procedimiento de análisis químico del suelo para la determinación de cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+}) basado en la NOM-021-SEMARNAT-2000. (A) Pesado de la muestra de suelo. (B-C) Extracción con solución de acetato de amonio 1 N y agitación para el desplazamiento de cationes intercambiables. (D) Centrifugación para la obtención del extracto a analizar.



Control y aseguramiento de calidad en los análisis de suelo

La calidad de los laboratorios se evalúa principalmente en términos de precisión y exactitud (Figura 3). Para ello se aplican diferentes procedimientos que permiten minimizar los errores durante el proceso analítico. La precisión se refiere a qué tan reproducibles son los resultados de los análisis, es decir, cuántas veces se repite el mismo resultado en muestras réplica, y se puede medir mediante indicadores estadísticos como la desviación estándar, el coeficiente de variación o la varianza. Por su parte, la exactitud describe la cercanía entre un valor medido y uno real o aceptado, convencionalmente se evalúa a partir del error absoluto.

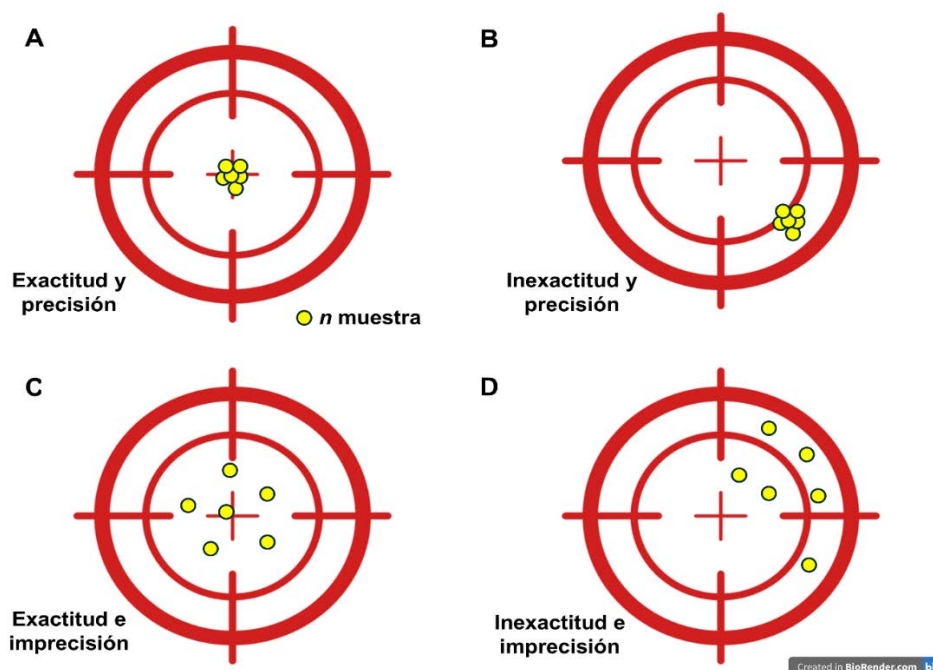


Figura 3. Precisión y exactitud en resultados analíticos. (A) Alta exactitud y precisión: los resultados se agrupan cerca del valor verdadero. (B) Alta precisión, pero baja exactitud: los resultados son reproducibles, pero están alejados del valor real. (C) Alta exactitud, pero baja precisión: los resultados se distribuyen alrededor del valor verdadero con mayor dispersión. (D) Baja exactitud y precisión: los resultados presentan alta dispersión y se alejan del valor real.

En este contexto, dentro del laboratorio el control de calidad se aplica de manera rutinaria como parte del trabajo diario. Las muestras de suelo se analizan mediante diferentes técnicas especializadas como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), que permite cuantificar simultáneamente diversos elementos presentes en extractos del suelo (Figura 4A).



Para verificar la confiabilidad de los resultados, durante el análisis se emplean diferentes controles, como muestras duplicadas (permiten comprobar consistencia y reproducibilidad de los resultados), blancos de reactivos (para verificar que no existe contaminación durante el proceso analítico) y muestras de control de calidad con concentraciones conocidas (Figura 4B).

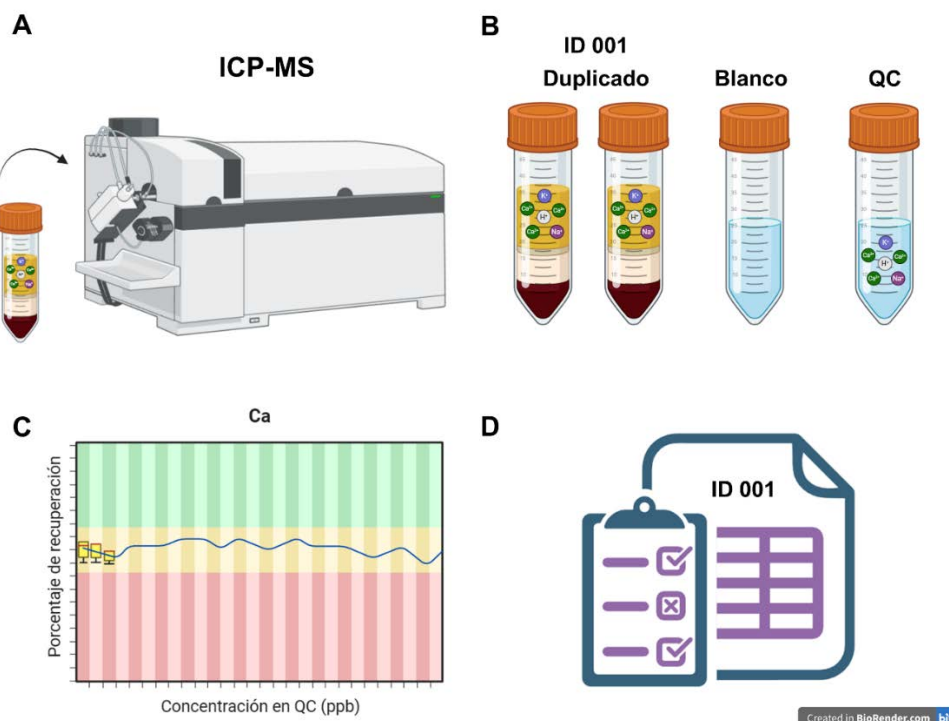


Figura 4. Análisis de la muestra mediante ICP-MS (A) y controles aplicados durante el análisis: muestras duplicadas, blanco de reactivos y muestras de control de calidad (QC) con concentración conocida (B), evaluación del porcentaje de recuperación (C) y verificación final mediante una lista de comprobación antes de la emisión del informe final (D).

Los datos obtenidos a partir de estas revisiones se analizan estadísticamente para establecer rangos aceptables de trabajo y detectar cualquier desviación. Cuando se identifican resultados fuera de los rangos esperados (Figura 4C), se revisan los procedimientos y se corrigen antes de emitir los informes finales. Por ejemplo, en una muestra de control de calidad se espera recuperar entre 90 y 110 % del valor conocido; resultados fuera de este intervalo indican la necesidad de revisar el procedimiento. Contar con registros continuos de datos de la muestra analizada permite detectar errores a tiempo y evita que información incorrecta llegue a los usuarios finales (Figura 4D).



El aseguramiento de la calidad y el control analítico cumplen funciones distintas, pero trabajan de forma complementaria. El primero se enfoca en prevenir errores antes de que ocurran. Incluye acciones como la capacitación continua del personal, el uso de métodos estandarizados, la correcta documentación y apego a los procedimientos, así como el mantenimiento, verificación y calibración periódica de los equipos. El segundo se centra en verificar que el proceso analítico se esté realizando correctamente y que los resultados finales sean válidos.

Una parte fundamental de estos sistemas son los ensayos de intercomparación nacionales (Red Mexicana de Laboratorios de Suelos, MEXSOLAN) e internacionales (Non-profit North American Proficiency Testing program, NAPT, por sus siglas en inglés). En este tipo de ejercicios, varios laboratorios analizan una porción de la misma muestra y comparan sus resultados. Esto permite identificar diferencias en los procedimientos, detectar errores sistemáticos y confirmar que los resultados obtenidos sean comparables entre distintos laboratorios.

En algunos casos, estas comparaciones se realizan con laboratorios de otros países (Ej. NAPT de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo, EUA), lo que fortalece la confiabilidad de los datos y facilita su uso en contextos más amplios, como programas de monitoreo ambiental o proyectos de investigación.

El análisis de
suelos es la base
para la nutrición
eficiente, una
mayor
productividad
agrícola y la
protección del
medio ambiente.

¿Por qué es importante la calidad en los análisis de suelo?

La confiabilidad de los análisis de suelo permite relacionar los resultados de laboratorio con la respuesta de los cultivos en el campo. A través de la calibración de los métodos analíticos, es posible estimar los niveles de nutrimentos que los cultivos requieren para alcanzar un desarrollo óptimo. En este proceso, el cumplimiento de normas nacionales como la NOM-021-SEMARNAT-2000, así como guías técnicas nacionales (CCAYAC) e internacionales, como las emitidas por la FAO, contribuye a que los datos generados sean precisos, comparables y trazables.



Desafíos para garantizar la calidad de los análisis de suelo en México

En México, existen diversas limitaciones a lo largo de las distintas etapas del proceso analítico del suelo, desde la toma de muestras hasta la interpretación y aplicación de los resultados. Estas limitaciones pueden afectar la representatividad de las muestras, la calidad de los análisis y, en consecuencia, la toma de decisiones relacionadas con la nutrición de los cultivos.

Uno de los problemas más frecuentes se presenta durante el muestreo. En muchos casos existe desconocimiento sobre el número de submuestras que deben recolectarse para que la muestra compuesta sea verdaderamente representativa del terreno. Asimismo, es común encontrar errores en la forma de realizar el muestreo, como la recolección de muestras en caminos, bordes de parcelas o sitios que no reflejan las condiciones reales del área donde se establecerá el cultivo.

Estas situaciones pueden generar resultados que no reflejen adecuadamente las condiciones reales del suelo desde el inicio del proceso.

Una vez que las muestras llegan al laboratorio, también existen desafíos relacionados con la actualización de infraestructura y de metodologías analíticas. Aunque los métodos actualmente empleados continúan proporcionando resultados válidos y confiables, la incorporación de tecnologías más recientes puede contribuir a mejorar la eficiencia operativa y ampliar las capacidades analíticas de los laboratorios. Esta situación es particularmente relevante considerando la evolución constante de las tecnologías analíticas y la necesidad de evaluar periódicamente la pertinencia y actualización de las metodologías de referencia utilizadas en México.

Otro aspecto importante es el acceso a los análisis de laboratorio. Para muchos productores, asesores técnicos e instituciones educativas, los costos asociados a la evaluación de la fertilidad del suelo pueden representar una barrera. Por ello, resulta fundamental que tanto instituciones públicas como privadas ofrezcan alternativas accesibles que permitan ampliar la disponibilidad de estos servicios sin comprometer la calidad de los resultados.

También es importante considerar las diferencias entre laboratorios acreditados y no acreditados. La acreditación constituye una garantía de competencia técnica para métodos específicos; sin embargo, no todos los laboratorios acreditados cuentan con el mismo alcance. Por ejemplo, algunos laboratorios pueden estar acreditados para la determinación de macronutrientes como calcio, magnesio y potasio, pero no necesariamente para la evaluación de micronutrientes u otros parámetros de interés agronómico.

Un muestreo adecuado es indispensable, ya que incluso el análisis más preciso pierde valor si la muestra no representa correctamente al suelo evaluado.



Por esta razón, además de verificar si un laboratorio está acreditado, es necesario conocer cuáles análisis se encuentran incluidos dentro de dicha acreditación y verificar que correspondan a los parámetros requeridos por el usuario.

Finalmente, la utilidad de un análisis de suelo no depende únicamente de la obtención de resultados, sino también de su correcta interpretación. La determinación del tipo, cantidad, momento y sitio de aplicación de fertilizantes debe realizarse considerando las necesidades específicas de cada cultivo y las deficiencias o excesos detectados en el análisis. En este sentido, el acompañamiento de técnicos especializados resulta de gran importancia para transformar la información analítica en estrategias de manejo que contribuyan a mejorar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Caso de estudio: los retos analíticos en la determinación del carbono orgánico

Los desafíos asociados a la calidad de los análisis de suelo no se limitan a parámetros tradicionales evaluados en los estudios de fertilidad. También existen retos relacionados con la incorporación de nuevas determinaciones de interés agrícola y ambiental. Un ejemplo es la determinación del carbono orgánico del suelo, cuya importancia ha aumentado debido a su relación con la fertilidad, la salud del suelo y la captura de carbono atmosférico. En los últimos años, este parámetro ha cobrado relevancia por su posible vinculación con programas de mitigación del cambio climático y esquemas de compensación ambiental.

No obstante, la cuantificación precisa del carbono orgánico y el seguimiento de sus cambios a lo largo del tiempo continúan representando desafíos técnicos. Factores como la variabilidad espacial del suelo, las diferencias metodológicas entre laboratorios y la necesidad de protocolos estandarizados dificultan la comparación de resultados y la generación de información robusta para la toma de decisiones.

Por ello, es necesario fortalecer la investigación y el desarrollo de metodologías que permitan mejorar la precisión y confiabilidad de estas determinaciones bajo diferentes condiciones de manejo y sistemas de producción.



“El cumplimiento de normas nacionales e internacionales garantiza que los resultados sean trazables, comparables y útiles para la toma de decisiones agrícolas y ambientales.”



Conclusiones

La confiabilidad de un análisis de suelo no depende únicamente del trabajo realizado en el laboratorio; comienza con la obtención de una muestra representativa en campo y se complementa con una interpretación adecuada de los resultados. Cuando cada una de estas etapas se realiza correctamente, la información generada puede transformarse en decisiones agronómicas fundamentadas.

En conjunto, el control y el aseguramiento de la calidad en los análisis de suelos permiten que las decisiones agrícolas y ambientales se basen en evidencia verificable. Esto favorece una producción más eficiente, rentable y sostenible, beneficiando a los productores al volverlos más competitivos en el mercado nacional e internacional, al medio ambiente al minimizar el impacto por contaminación y a la sociedad en general al aumentar la confianza de lo que consumen.

De esta manera, resultados precisos de los análisis de suelo permiten que el recorrido de una muestra, desde el campo hasta el laboratorio, se traduzca en información útil para el manejo sostenible de los cultivos.

Literatura recomendada

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.
- Van Reeuwijk, L. P., & Houba, V. J. G. (1998). Guidelines for quality management in soil and plant laboratories (FAO Soils Bulletin No. 74). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).





Semblanza de autores



Francisco Javier López-González es Ingeniero Agrónomo por el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Actualmente es estudiante de Maestría en Ciencias en Edafología en el Colegio de Postgraduados, con enfoque en Nutrición Vegetal. Su línea de interés se centra en el estudio de la fertilidad de suelos y el manejo nutrimental de cultivos.

Omar Cástor Ponce-García es Ingeniero Agrónomo por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con Maestría en Productividad Frutícola por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Con experiencia en investigación en fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Actualmente trabaja en el INIFAP, en la Jefatura del Campo Experimental Delicias en Chihuahua.

Libia Iris Trejo-Téllez es Ingeniera Agrónoma por la Universidad Autónoma Chapingo, con Maestría en Ciencias en Edafología por el Colegio de Postgraduados y Doctorado en Ciencias Naturales por la Universidad Libre de Berlín. Sus líneas de investigación se centran en nutrición vegetal, bioestimulación y fisiología de cultivos. Es Profesora Investigadora Titular del Colegio de Postgraduados, miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores Nivel 3, y de la Academia Mexicana de Ciencias.

Sandra Mendoza-Araujo es Química Agrícola por la Universidad Autónoma de Querétaro. Actualmente es Coordinadora del área de análisis Elemental en el Laboratorio de Calidad e Inocuidad SIASA LAB. Cuenta con una amplia trayectoria en análisis elemental (AA, ICP-MS) de diversas matrices, tanto de interés alimentario como industrial y dentro del ámbito agrícola.

Erwin Saúl Navarrete-Saldaña es Ingeniero Agrónomo y Maestro en Ciencias Biológicas por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias en el Colegio de Postgraduados, con enfoque en análisis de Asociación Genómica de Fitopatógenos en el cultivo de fresa. Sus líneas de investigación se centran en la identificación de fitopatógenos mediante reconstrucción filogenética, control biológico, nutrición vegetal y suelos.