

# Análisis de suelos como herramienta de diagnóstico en la evaluación química de la fertilidad en el cultivo de papa

Manuel Iván Gómez<sup>1</sup>

## Introducción

La fertilización constituye una de las prácticas más eficientes para asegurar a la planta la posibilidad de expresar su potencial genético, al poner a disposición de los cultivos las cantidades adecuadas de aquellos elementos esenciales, de tal forma que las plantas puedan realizar sus funciones fisiológicas importantes en la toma, transformación y producción de alimentos (Gómez, 2003).

El análisis de suelos es parte importante de la evaluación química de la fertilidad de suelos, cuya función es caracterizar el estado y disponibilidad de nutrientes. Esta herramienta de diagnóstico se emplea para la toma de decisiones en el manejo racional y eficiente de la fertilidad de los suelos si se estudia de forma integral, más aún cuando se trabaja con plantas que, como la papa, son de gran exigencia nutricional (500 a 600 Kg/ha<sup>1</sup> de nutrientes en todo el ciclo de cosecha) y que se caracterizan por tener una baja tasa de eficiencia en la toma de nutrientes.

El diagnóstico químico de la fertilidad de suelo, para que sea adecuado y confiable, debe apoyarse en dos aspectos fundamentales (Guerrero, 1984):

En el uso de soluciones extractoras de la fracción disponible adecuadas para los diferentes grupos de suelos por lo menos a nivel de suborden.

En la utilización de niveles críticos (altos, medios y bajos) confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los grupos de suelos y según los cultivos.

La respuesta del cultivo de papa a la fertilización en suelos se optimiza con el estudio de niveles críticos de elementos, calibrados por tipo de suelos y variedades, usados como un factor clave para interpretar los resultados del análisis con miras a obtener recomendaciones acertadas y evitar pérdidas de nutrientes.

El análisis de suelos permite efectuar un monitoreo y seguimiento del estado y variaciones de fertilidad en áreas de suelos donde se establecerán cultivos o en los ya establecidos, de tal manera que el técnico y agricultor tengan una herramienta de diagnóstico e interpretación para proyectar los planes de fertilización en busca de optimizar los costos y producción de los cultivos bajo el concepto de agricultura específica y sostenible.

## Identificación del problema

El análisis de suelos ha sido considerado como una herramienta esporádica en la evaluación de la fertilidad del cultivo de papa, esto implica que el agricultor y el técnico no lo incluyen regularmente dentro de la proyección del cultivo. De esta forma, no se tiene un historial o registros del estado nutricional, respuestas agronómicas de lotes con variaciones en rendimiento a nivel de la finca que sirvan para la toma de decisiones acertadas al establecer planes de fertilización.

<sup>1</sup> Ing. Agr. Candidato a Magister Scientiae en Suelos y Aguas. Universidad Nacional de Colombia. Director de Investigación y Desarrollo Microfertilisa S.A. migomez@microfertilisa.com.co

En muchos casos se convierte en la única herramienta de decisión para recomendación de fertilizantes sin integrar otros medios de diagnóstico (análisis foliar, análisis visuales de síntomas de deficiencia, registros de cosecha), ni considerar factores relacionados con la disponibilidad de elementos a nivel de suelo y de manejo agronómico del cultivo.

Por otro lado se vienen cometiendo errores en el muestreo con respecto a la época y toma de la muestra. En primer lugar se realiza sin asumir el manejo de enmiendas y, en cuanto a la toma de la muestra, no se tienen en cuenta las variaciones presentes en el suelo (relieve, color, textura, manejo del cultivo) y los cuidados en la manipulación de las muestras.

En muchos casos no correlacionan las respuestas agronómicas del cultivo de papa frente a los criterios de interpretación de análisis actuales. No existe una calibración consistente de análisis de suelos: muchas de las metodologías de extracción no fueron homologadas y se estudiaron en suelos con una realidad química y mineralógica diferente a la que existe en el país. Igualmente, muchos de estos suelos fueron calibrados en áreas no representativas de los suelos agrícolas actuales, y no ha sido un proceso continuo con demostraciones en invernadero y campo.

Los problemas en la calibración de análisis están relacionados específicamente con los criterios de selección de las soluciones extractoras, concernientes a las condiciones de disponibilidad del elemento en el suelo, a la relación con la extracción del cultivo de papa y a criterios de interpretación de niveles críticos que determinen eficientemente la verdadera respuesta agronómica.

Se ha comprobado que desbalances nutricionales con NPK, afectan directamente la calidad y expresión del potencial genético del cultivo de la papa en diferentes zonas productoras del país (Cundinamarca, Boyacá y Nariño). Los elementos relacionados con estos desordenes son principalmente elementos secundarios Mg, S y Ca y elementos menores como B, Mn, Zn y Cu, que generalmente aparecen deficientes, debido a que no se aplican apropiadamente en los planes de fertilización.

Con las interpretaciones deducibles del análisis de elementos de manera individual se incurre en errores de interpretación porque no se tienen presentes las relaciones iónicas, que determinan la mayor disposición y eficiencia de absorción del nutriente con un manejo oportuno del fertilizante.

Por lo anterior, en el caso de los cationes intercambiables, además de las concentraciones de elementos reportados del análisis, se debe tener en cuenta en el diagnóstico la saturación individual relacionada con la capacidad de intercambio. Este concepto, sin duda, integra las propiedades de intercambio con la especificidad y concentración de los cationes, factores generalmente regulados por el balance de elementos y equilibrio iónico.

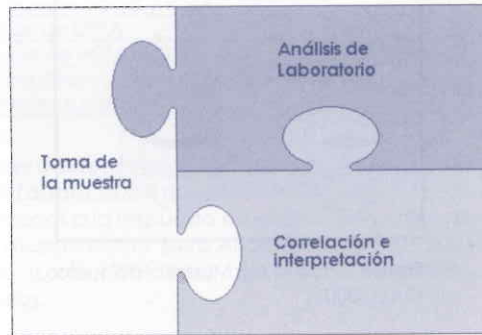
Los fertilizantes en el cultivo de papa representan entre un 25 a 30% del costo económico total del cultivo; el uso excesivo de los fertilizantes sin una evaluación de la fertilidad adecuada repercuten directamente en el aumento de los costos de producción e impactos ambientales por eutrofización o toxicidades. Para el agricultor, los nutrientes perdidos significan dinero desperdiciado.

### **Marco de referencia y estado de arte**

La evaluación de la fertilidad del suelo requiere un enfoque unificado que implica una serie de pasos (Nelson, 1999). Los resultados pueden ser exitosos solamente si la evaluación es considerada como un proceso; los pasos de este proceso se puede resumir en el diagnóstico de problemas nutricionales, interpretación de la dinámica de elementos y la recomendación de fertilizantes. En este sentido, el análisis de suelos juega un papel fundamental para asistir en el manejo de la fertilidad para cultivos como la papa.

La principal ventaja del análisis de suelos es determinar el estado de los nutrientes del suelo antes de la siembra del cultivo. El objetivo de un análisis de suelos es obtener un valor que ayude a estimar la cantidad de nutrientes necesarios para suplementar la provisión natural del suelo. Para el agricultor, el objetivo es mantener los niveles de nutrientes necesarios para sostener la productividad y rentabilidad; esto significa que los nutrientes no pueden ser un factor limitante en ningún estado, desde la emergencia de las plantas hasta la madurez (Havlin *et al.*, 1999).

El análisis de suelos es una herramienta que integra tres componentes importantes: toma de muestras, análisis de laboratorio e interpretaciones basadas en correlación de campo (Figura 1), importantes para evaluar el grado de deficiencia y disponibilidad de los nutrientes y determinar las cantidades de fertilizantes que se deben aplicar (Kidder y Espinoza, 2002).



**Figura 1.** Elementos que integra un Análisis de suelos (Kidder y Espinoza, 2002)

Los resultados no son la parte más importante del análisis. En realidad, se tendrá una idea del potencial nutritivo del suelo cuando todos los elementos del análisis sean incorporados. A continuación se explica y analiza la implicación de cada uno de estos componentes en el manejo agronómico del cultivo de papa y se exponen avances al respecto.

#### Muestreo de suelos para análisis

Esta etapa requiere habilidad para correlacionar los rasgos indicadores observados en el campo en la etapa de muestreo con los resultados analíticos y poder así llegar a un diagnóstico acertado de la fenomenología físico-química del suelo y de su posible efecto sobre la nutrición de las plantas (García, 2003).

Es la parte en la que las fallas en el análisis de suelos son más probables (Adepetu *et al.*, 2000). En este caso los errores se presentan porque no se tienen en cuenta características asociadas a la pedogénesis del suelo y prácticas del cultivo.

Los suelos cultivados en papa en el país presentan distintas variaciones porque se ubican en diversos paisajes, predominando el montañoso y de ladera; existe heterogeneidad en las clases texturales de suelos (francos a arcillosos), y en los minerales constitutivos (amorfo y cristalinos) que se refleja en cambios de color. También, es posible la ocurrencia de procesos dominantes como andolización, erosión, lixiviación, fijación, acidificación y, en menor grado, salinización y oxidorreducción (Gómez, 2004).

La muestra de suelo a nivel de predio debe ser representativa y específica del área por zonas de manejo, cada muestra no debe representar más de 5 hectáreas y se deben realizar mínimo 20 submuestras de manera aleatorizada evitando mezclar diferentes tipos de suelos (Stark et al., 2004). Si en un campo alguna área del suelo parece diferente (color, textura) o si el crecimiento cultivo es significativamente diferente del resto, se debe tomar una muestra separada de dicha área. Se debe tener en cuenta también el tratamiento agrícola de los últimos años (enmiendas orgánicas, calcáreas y fertilizantes).

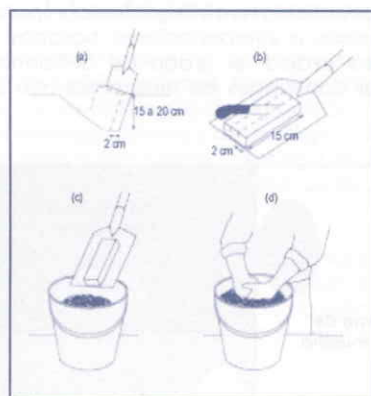


Figura 2. Toma de Muestra de suelo (FAO, 2002)

Es necesario dividir la finca en áreas que contemplen estas variaciones para coleccionar las muestras. La gente no siempre es cuidadosa en tener en cuenta estos cambios para la toma de las muestras; así, es común encontrar que las personas encargadas de hacerlo no tienen ninguna capacitación ni reciben instrucciones adecuadas para ello. De esta forma, un análisis de suelo no puede ser mejor que la muestra analizada.

Para el cultivo de papa se debe tomar la muestra con un mes de anterioridad, o después de la cosecha, de acuerdo a una planeación y prever así el manejo de enmiendas y labores físicas. La muestra se realiza a una profundidad entre 15 a 20 cm, con implementos de toma y empaque adecuados como se ilustra en la Figura 2 (FAO, 2002).

#### Análisis químicos de laboratorio

El método químico realizado en la caracterización de nutrientes en el laboratorio extrae y mide la cantidad de elementos disponibles para los cultivos de una pequeña muestra representativa de suelo (Adepetu et al., 2000).

**Tabla 1.** Metodologías de análisis de suelos utilizadas en Colombia para la determinación de elementos disponibles.

Parámetros	Extracción	Nombre	Fuente
Fósforo (P) disponible	Bicarbonato de Sodio	Olsen	IGAC, 1990
	Método de Hunter	Olsen modificado	IGAC, 1990
	Fluoruro de Amonio, HCl 0,1N	Bray II modificado	ICA, 1989
	Fluoruro de Amonio, HCl (diluido)	Bray I	IGAC, 1990
Ca, Mg, K, Na	Método de Acetato de Amonio pH 7 1N.	Lindsay y Norvell	ICA, 1989 IGAC, 1990
Azufre (S)	Fosfato monocálcico	-	ICA, 1989
Boro (B)	Agua Caliente	-	IGAC, 1990
	Fosfato monobásico de calcio	-	ICA, 1989
		-	IGAC, 1990
Cu, Fe, Mn y Zn	Bicarbonato de Na y EDTA	Olsen modificado	IGAC, 1990
	Método de DTPA	-	ICA, 1989
Carbono orgánico	Solución de HCl y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Melich	IGAC, 1990
	Ácido sulfúrico y dicromato de potasio (Titulación o calorimétrico)	Walkey Black	IGAC, 1990

Actualmente en el país se utilizan diversas metodologías como lo referencian distintos autores (ICA, 1989; IGAC, 1990; Zapata, 2003) resumidas en la Tabla 1. La mayoría no se encuentran calibradas ni estandarizadas a la respuesta específica del cultivo de papa, a excepción del método de Olsen modificado para P para Andisoles (Espinosa, 2004), y de Boro con fosfato monobásico de calcio (Lora, 1991), pero con mucha variabilidad en respuesta por las diferentes clases de suelos.

#### *Consideraciones metodológicas relacionadas con la extracción de elementos en el suelo y los laboratorios.*

Ha sido difícil desarrollar un análisis confiable de N en virtud a la naturaleza especialmente orgánica y a su dinámica en el suelo. Como resultado, no se acostumbra determinar la cantidad de N en los análisis de fertilidad del suelo. Además, su determinación se estima por la relación con el carbono orgánico del suelo.

Los reactivos usados para extraer las bases (Ca, Mg, K, Na) deben disturbar tan poco como sea posible la condición natural del suelo ya que se debe minimizar cualquier cambio en función de los componentes del suelo si se quiere tener determinaciones reales de la composición iónica. (Sposito, 1981; Eckert, 1987).

Para fines de diagnóstico de la fertilidad de suelos, la disponibilidad del Ca, Mg y K se determina extrayendo su fracción cambiante en una solución de sal neutra, el uso de esta solución ofrece un buen margen de seguridad y de eficiencia para el caso de suelos tropicales (Eckert, 1987; Zapata, 2003)

En la determinación de la CIC y las bases, es posible la interacción entre las soluciones usadas en cada una de las etapas (saturación, lavado, extracción), lo cual puede causar alteraciones en los resultados (ICA, 1989). En suelos tendientes a la neutralidad, pueden causar la dilución de Ca y Mg de las formas de carbonatos a yesos no disponibles (García, 2003), y en Inceptisoles y Andisoles, donde están ubicados principalmente los cultivos de papa, se puede sobreestimar esta medida por la carga variable que presentan estos suelos.

De acuerdo al ICA (1989), en general el P extraíble de suelos ácidos con soluciones ácidas se puede correlacionar con las respuestas de la fertilización fosfatada al extraer fosfatos de calcio, pero en suelos neutros o alcalinos la correlación no es adecuada porque no disuelve fosfatos de hierro y aluminio, por ello se deben utilizar soluciones alcalinas.

Para la determinación de S, investigaciones realizadas por Guerrero y Burbano (1979) en suelos de la Sabana de Bogotá, han determinado el nivel crítico entre 7-10 ppm de azufre disponible, presentado una adecuada correlación con el extractante fosfato de calcio; en este caso el anión fosfato desplaza fácilmente al fosfato adsorbido.

En la determinación de elementos menores existe mucha variabilidad en la relación de la extracción y respuesta en campo, con las metodologías de Olsen modificado y doble ácido. Por ello es necesario realizar ajustes para las condiciones de suelos cultivados en papa, especialmente para Zn, B y Mn que han mostrado deficiencias en algunas zonas del país (Gómez, 2004).

Los buenos laboratorios de análisis de suelos cuentan con personal capacitado que sabe como controlar la calidad del análisis y aseguran resultados confiables. En el país existe el Control Analítico de Laboratorios de Suelos (CALS), supervisada por la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, cuyos laboratorios inscritos están regidos bajo metodologías de extracción y determinación estandarizada. Es importante tener precaución con laboratorios de análisis de suelos que no interpretan los resultados.

#### Calibración e interpretación de análisis

La calibración de análisis de suelos consiste en establecer correlaciones entre los datos de los laboratorios y las respuestas de los cultivos. Es el puente entre el laboratorio y el campo (Nelson, 1999). Este proceso se debe constatar a través de varios años por las experiencias realizadas en un trabajo continuo a medida que se dispone de información.

La calibración no es útil para determinar la cantidad de fertilizante a aplicar en un cultivo dado, solo indica si el contenido de un nutriente es deficiente o suficiente y pronostica la probabilidad de respuesta de la aplicación del nutriente (Corey, 1987; Zapata, 2003). Una adecuada calibración debe considerar dos aspectos (Guerrero, 1984): el uso de soluciones extractoras adecuadas de la fracción disponible de los suelos y la utilización de niveles críticos confiables.

#### Selección de la solución extractora

El seleccionar cualquier solución extractora para un elemento dado se basa en la mayor o menor asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. Esta solución será apropiada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción del elemento; igualmente, cuando los valores bajos de extracción coincidan con una baja absorción del elemento por la planta. Si estos supuestos no se cumplen, la eficiencia de la solución será muy baja o nula (Bertsch, 1995, Guerrero, 1984). Se evalúa en términos de correlación estadística entre las concentraciones determinadas en el suelo bajo distintos extractantes y la asimilación del nutriente en la planta.

Los avances al respecto en el cultivo de papa se relacionan con el comportamiento del potasio en estudios que se iniciaron en el 2004 como parte de proyecto de tesis de la Universidad Nacional de Colombia realizado por Jiménez (2004) sobre la dinámica de este elemento en Andisoles e Inseptisoles en el altiplano Cundiboyacense, donde busca evaluar la relación entre las diferentes formas del K en el suelo, los índices de disponibilidad del potasio en el suelo, la producción y calidad de tubérculos.

### Determinación de niveles críticos

La obtención de los niveles críticos se realiza para las metodologías de extracción que hayan tenido mejor correlación con la extracción de los nutrientes por parte de la planta. Para conducir estudios de calibración, según Nelson (1999), se requieren las siguientes consideraciones:

Calibración de la solución extractora.

Selección de lugares por unidades de suelos para tener un rango del contenido de nutriente desde bajo hasta alto, con continuidad en los niveles del nutriente.

El rango donde debe haber la mayor cantidad de sitios es alrededor del punto crítico esperado.

No se deben tener demasiados sitios con contenido alto de nutrientes.

Experimentos replicados de respuesta de fertilizantes, preferiblemente en 20 o más sitios con uno o más nutrientes.

En los sitios escogidos se establecen los estudios con los niveles de nutriente a calibrarse y en las parcelas individuales se mide el rendimiento y concentración del tejido foliar, parámetros útiles en la calibración.

Con el objetivo de separar suelos deficientes o suficientes en un nutriente dado se ha propuesto el llamado "nivel crítico". Concentraciones de un nutriente por debajo del nivel crítico implican deficiencia y alta probabilidad de aumentar el rendimiento con la aplicación de fertilizantes; por encima del nivel crítico hay suficiencia y baja probabilidad de obtener respuesta a la fertilización (Corey, 1987, Guerrero, 1984).

### Interpretación y uso práctico de los análisis de suelos

Para la determinación e interpretación de niveles críticos se utilizan los modelos exponencial, logarítmico, cuadrático, Cate-Nelson, Incremento en rendimiento, superficie respuesta, continuos no paramétricos y mediante estimativos estadísticos de correlación y covarianza (Nelson, 1999).

Los niveles críticos permiten agrupar los suelos en categorías, dependiendo si el nivel de disponibilidad del nutrimento es alto, medio o bajo, pero la interpretación debe ir un poco más allá, en el sentido de relacionar esa clasificación con los conceptos de suficiencia y respuesta a la fertilización (Guerrero, 1984; León, 1994)

Muchos laboratorios clasifican el nivel de fertilidad del suelo como muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto, basándose en los resultados de los análisis, pero hay que tener en cuenta que éstos son términos relativos al cultivo en cuestión y que, por ejemplo, lo que es alto para papa es bajo para maíz, lo que es bajo para un suelo arcilloso es alto para uno arenoso. Por lo que el agricultor debe conocer el significado de los resultados y su contexto (Ortega, 2000).

Algunos laboratorios han adoptado un índice de fertilidad expresado como un porcentaje sobre un rendimiento máximo. Esto constituye una primera aproximación entre el porcentaje sobre rendimientos obtenidos de experiencias de campo y los valores hallados en los análisis de suelo (Ortega, 2000).

Los índices de fertilidad señalan la respuesta de nutriente y se han definido algunos parámetros regionales para elementos secundarios y menores en suelos cultivados en papa de los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca (Figura 3), donde se demuestra alta probabilidad de respuesta en elementos como Mg, Mn y B; en una menor proporción Zn, S, Cu y Ca, y muy baja para Fe. Estos índices se ha determinado con investigaciones de respuesta a nivel de campo hechas por MICROFERTISA (Gómez, 2004) en papa de variedades Diacol Capiro y parda pastusa para Mg, S, B, Zn y Mn, y se corroboran con resultados obtenidos por CORPOICA (Barrera, 1998); UPTC (Castro, 1998) y MONÓMEROS (Guerrero *et al.*, 2000).

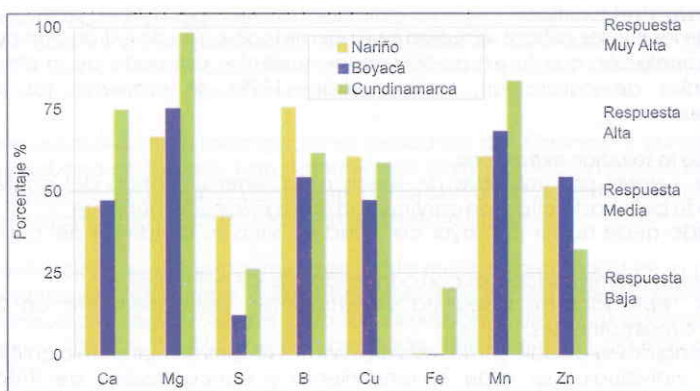


Figura 3. Distribución porcentual de la respuesta de aplicación de elementos secundarios y menores en el cultivo de papa para suelos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca (Gómez, 2004).

Otro efecto práctico del uso de análisis de suelos es utilizar las bases de datos y correlacionar con unidades geográficas y de suelo para evaluar patrones espaciales del suelo, determinando mapas de fertilidad, mediante SIG o estudios de suelos regionales. Una primera aproximación de la utilidad de la base de datos a nivel regional es la consecución de un mapa a escala 1:250.000 que ilustra la disponibilidad de elementos menores en zonas productoras de papa, desarrollado en marco de la investigación CORPOICA-CEVIPAPA (2002): *Proyecto de evaluación de abonos verdes, elementos menores, microbiología de suelos y abonos orgánicos en el cultivo de papa.*

Este estudio demuestra la probabilidad de una respuesta media a alta para elementos menores tales como B, Cu, Mn y Zn y una muy baja respuesta para Fe, resultados que contrastan con la tendencia representada en la Figura 3.

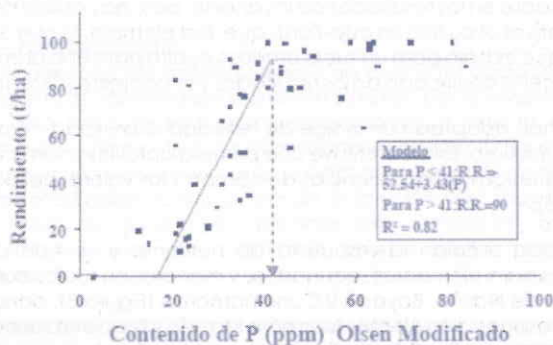
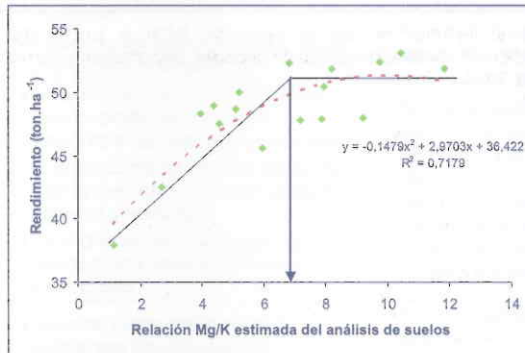


Figura 4. Determinación del nivel crítico de P y ajuste de datos de la respuesta de papa en Andisoles con el modelo discontinuo (Tomado de Espinosa, 2004).

En andisoles se han obtenido niveles críticos en papa para P disponible (Olsen modificado), con una respuesta positiva de aplicación de este nutriente a valores menores de 40 ppm de acuerdo a la Figura 4.

En la Figura 5 se ajusta el nivel crítico de la relación Mg/K en la respuesta de papa variedad Diacol Capiro a la aplicación de magnesio para integrados a Andisoles (Andic Eutrudepts) en la Sabana de Bogotá (Gómez, 2004), donde se establece un rango bajo (<7) con alta respuesta a Magnesio, medio (entre 7-10) y alto (>10) con baja respuesta a Mg y deficiencia de K. Al mismo tiempo se comprueba que la extracción con acetato de amonio para estos suelos correlaciona significativamente.

Las relaciones iónicas estimadas a través de la interpretación del análisis de suelos pueden explicar que el desequilibrio iónico a nivel edáfico limita la absorción de nutrientes y expresión del rendimiento genético de un cultivo.



**Figura 5.** Determinación del nivel crítico de la relación Mg/K y ajuste de datos de la respuesta de Papa variedad Diacol Capiro a la aplicación de Mg en Andic Eutrudepts con el modelo discontinuo y cuadrático. (Gómez, 2004).

Otro efecto práctico de la interpretación es deducible a partir de la estimación por covariables y correlación para estimar variables indirectas (Nelson, 1999). Esta aplicación se observa en el caso de andisoles de Nariño cultivados en papa (Gómez, 2004), donde se ajusta la relación P/Zn con una relación óptima en el suelo de 10:1 a 12:1, partiendo del nivel crítico de 40 ppm de P, ya calibrado (Figura 6). Por encima de este rango en campo se identifican deficiencias severas de Zn a pesar de los contenidos medios presentados que comprueban la relación fisiológica antagonista de estos elementos (Loué, 1988). Lo anterior se explica por las aplicaciones excesivas tradicionales de P en las que incurren los agricultores cuando realizan la fertilización edáfica del cultivo.

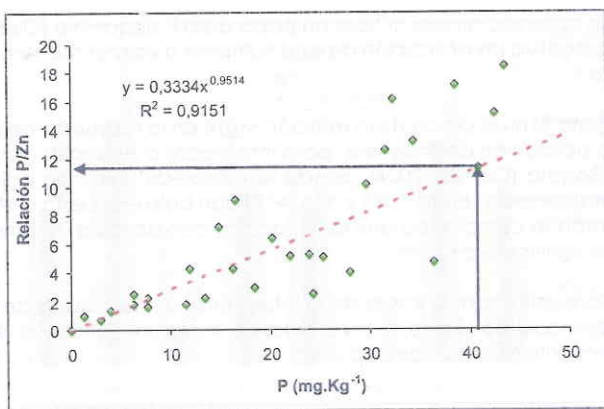


Figura 6. Estimación de la relación P/Zn a partir de la correlación de variables de análisis en andisoles. Departamento de Nariño (Gómez, 2004).

## Necesidades de investigación

Línea de acción	Objetivos	Justificación
Importancia del análisis de suelos en planes de fertilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concientizar de la importancia práctica del análisis de suelos (agronómica, económica y ambiental)</li> <li>• Incentivar el uso de análisis de suelos como herramienta integral de diagnóstico por parte del agricultor y técnicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconocimiento del uso de herramientas de diagnóstico de fertilidad por parte del agricultor y técnicos</li> <li>• Se incurre en desbalances nutricionales en la fertilización</li> </ul>
Metodología de muestreo y monitoreo de análisis de suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer técnicas de muestreo representativas</li> <li>• Instruir sobre la metodología de muestreo</li> <li>• Implementar registros históricos de producción y fertilización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Errores en el muestreo de suelos</li> <li>• No existe una evaluación registrada de la respuesta de fertilización para la toma de decisiones en el uso de fertilizantes</li> </ul>
Selección de soluciones extractoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la solución extractora que cuantifique la fracción disponible del elemento en el suelo</li> <li>• Correlacionar la solución extractora con la demanda nutricional de la especie y variedad</li> <li>• Estandarizar metodologías de extracción y determinación en laboratorio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe relación entre la extracción química usada del elemento y la absorción por parte del cultivo</li> <li>• Se utilizan diversas metodologías de análisis sin tener en cuenta criterios edafotécnicos aplicados a nuestro medio</li> </ul>
Determinación de niveles críticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separar suelos deficientes o suficientes en un nutriente</li> <li>• Determinar dosis óptimas de nutrientes</li> <li>• Correlacionar resultados de análisis con variables respuesta en laboratorio y campo</li> <li>• Establecer niveles críticos con respecto a la relación iónica de nutrientes y saturación de elementos en los suelos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe variabilidad en la respuesta agronómica con los niveles actuales</li> <li>• Se han validado indistintamente niveles hallados en otras condiciones de suelo, planta y ambiente</li> <li>• Las últimas investigaciones en Colombia se remontan a las décadas de los 70s para algunos elementos y sin una calibración continua</li> </ul>
Interpretación y recomendación de análisis de suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar modelos de interpretación y de correlación estadística</li> <li>• Establecer índices de fertilidad (respuesta alta, media, baja)</li> <li>• Optimizar la práctica de fertilización en el cultivo (dosis, época, fuente, balance)</li> <li>• Estudiar la variabilidad espacial de la fertilidad en suelos cultivados en papa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La evaluación de la fertilidad no se realiza de manera integral</li> <li>• Se desconoce las respuestas y requerimientos de elementos secundarios y menores a nuestras condiciones</li> <li>• Se hace interpretación individual de elementos sin tener en cuenta las interacciones</li> </ul>

## **Bibliografía**

Espinosa, J. 2004. Dinámica del P en Andisoles. En: Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Conferencia dictada Mayo 20 y 21. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. 10 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO y Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. 4º ed. Roma. 77 p.

García, A. 2003. Un sistema de interpretación del análisis de suelos basado en la concepción causa y efecto. SCCS. Palmira. 16 p.

Gómez, M.I. 2003. Fertilización estratégica en el manejo eficiente de la variable nutricional de los cultivos. Seminario de Investigación. Curso Fertilidad de Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá DC. 41 p.

98

Gómez, M.I. 2004. Evaluación química e investigación de la respuesta de elementos secundarios y menores en papa cultivados en suelos de Nariño, Cundinamarca y Boyacá. MICROFERTISA S.A. 100 p.

Guerrero, R. y Burbano, H. 1979. Fracciones de azufre y niveles críticos de disponibilidad para la planta en suelos de los llanos orientales y la Sabana de Bogotá. p. 233-244. En: Silva, M. 1979. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. *Revista Suelos Ecuatoriales* 10(2). Bogotá. 257 p.

Guerrero, R. 1984. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. p. 141-199. En: Silva, M. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de Suelos: diagnóstico y control. Segunda edición. Bogotá. 418 p.

Havlin, J.; Beaton, J.; Tisdale, S. y Nelson, W. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Prentice Hall, Upper Saddle River. 500 p.

ICA. 1989. El análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de Asistencia Técnica No. 47. Bogotá.

Instituto Colombiano Agropecuario IGAC. 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. 5a Edición. Bogotá. 499 p.

Instituto Colombiano Agropecuario IGAC. 1992. Fertilización de Diversos Cultivos. Quinta Aproximación. Manual de asistencia técnica N° 25. Bogotá. 64 p.

Jiménez, F. 2003. Calibración de análisis de suelos. Seminario de Investigación. Curso Fertilidad de Suelo. Maestría Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia. 29 p.

Jiménez, F. 2004. Dinámica del potasio en suelos Andisoles e Inceptisoles dedicados al cultivo de papa en el altiplano Cundiboyacense. Proyecto de tesis para optar al título de Magister Scientiae en Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia. 32 p.

Kidder, G. y Espinoza, L. 2002. Fertilidad de suelos y el uso de fertilizantes. Departamento de Suelos y Agua. Servicio de Extensión Cooperativa, Instituto de Ciencias Agrícolas y Alimentarias. Universidad de La Florida. Gainesville. 33 p.

León, A. 1994. Evaluación de la Fertilidad del Suelo. En: Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. p. 155-186.

Lora, R. 1991. Análisis de suelos para microelementos. p. 215-226. En: Silva, M. 1991. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Segunda edición. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. 323 p.

Loue, A. 1988. Los microelementos en la agricultura. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 354 p.

Nelson, L. 1999. Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes. Inpofos. Canadá. 66 p.

Ortega, J. La importancia del muestreo y la calibración en los análisis de suelos. En: [www.fertiberia.com/informacion\\_fertilizacion/articulos/otros/articulo13.pdf](http://www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/otros/articulo13.pdf)

Sposito, G. 1981. The operational definition of the zero point of charge in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:292-297.

Stark J, Westerman D, Hopkins. 2004. Nutrient management guidelines for russet Burbank potatoes. University of Idaho. <http://info.ag.uidaho.edu>. Collage of Agricultural of life Sciences. Moscú. 11p.

Zapata, R. 2003. Extractantes químicos para evaluar la fertilidad del suelo y su calibración. En: Curso Teórico Practico Sobre Interpretación de Análisis de Suelos. Centro de Extensión y Oficina del Egresado de La facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín. p. 2-26.