

DIAGNOSTICO DE LOS REQUERIMIENTOS DE FERTILIZACION DE CULTIVOS EXTENSIVOS

Malcolm E. Sumner*

Introducción

Existen más de 50 factores que gobiernan el crecimiento y el comportamiento de los cultivos. Estos factores se pueden dividir en tres categorías principales: controlables, parcialmente controlables e incontrolables (Figura 1). Ejemplos de factores incontrolables son la luz, temperatura, viento, duración del día y concentración de CO₂ de la atmósfera. En la mayoría de los casos, el productor debe convivir con las condiciones del medio en el que se desenvuelve. Ejemplos de los factores parcialmente controlables son la falta de precipitaciones, que pueden suplementarse con riego, plagas y enfermedades que pueden ser controladas con protectantes y manejo, y ciertas propiedades físicas pueden mejorarse, aunque no cambiarse totalmente, con obras de drenaje o enmiendas. Entre los factores controlables se pueden mencionar dosis y localización de nutrientes, prácticas culturales tales como el espaciamiento entre surcos, densidad y época de siembra, tipo de cultivo y rotaciones. Para que un cultivo exprese su potencial de rendimiento todos estos factores deben estar a un nivel óptimo. Los rendimientos se reducen si uno o más factores se presenta a niveles sub-óptimos. Por esta razón, es importante recordar que aún cuando todos los factores nutricionales se encuentren en niveles óptimos, la presencia de sequía, plagas o cualquier factor no controlable puede resultar en un cultivo improductivo.

Esto significa que por más que el suelo sea deficiente en algún nutriente en particular, la aplicación de ese nutriente no garantiza un incremento en los rendimientos, ya que pueden haber otros factores, más allá de la nutrición, que pueden ser más limitantes.

En cierto modo, predecir los requerimientos de fertilización de un cultivo se parece al juego de naipes conocido como "blackjack". Se conoce bien que los jugadores que piden cartas pueden incrementar las probabilidades de ganarle a la banca, pero también todos saben que no se gana en todas las manos. Lo mismo sucede cuando se fertiliza un cultivo. En una determinada estación del año, todo lo que se espera es incrementar la probabilidad de obtener una respuesta a la aplicación de cierto nutriente, la cual será posible solamente si el resto de los factores están a nivel óptimo o cercano al óptimo, y si el nivel del nutriente en el suelo es limitante. Por ejemplo, un análisis de suelo diagnostica correctamente una deficiencia de fósforo (P), la aplicación de un fertilizante fosfatado puede no tener respuesta en rendimiento si la humedad es limitante en ese año. Sin embargo, se espera tener respuesta en ese suelo en un período de varios años cuando el resto de los factores no sean limitantes. En este contexto, es importante estimar las opciones disponibles al evaluar el estado nutricional de un suelo y un cultivo. Básicamente, existen dos aproximaciones al problema: el análisis de suelo y el análisis foliar.

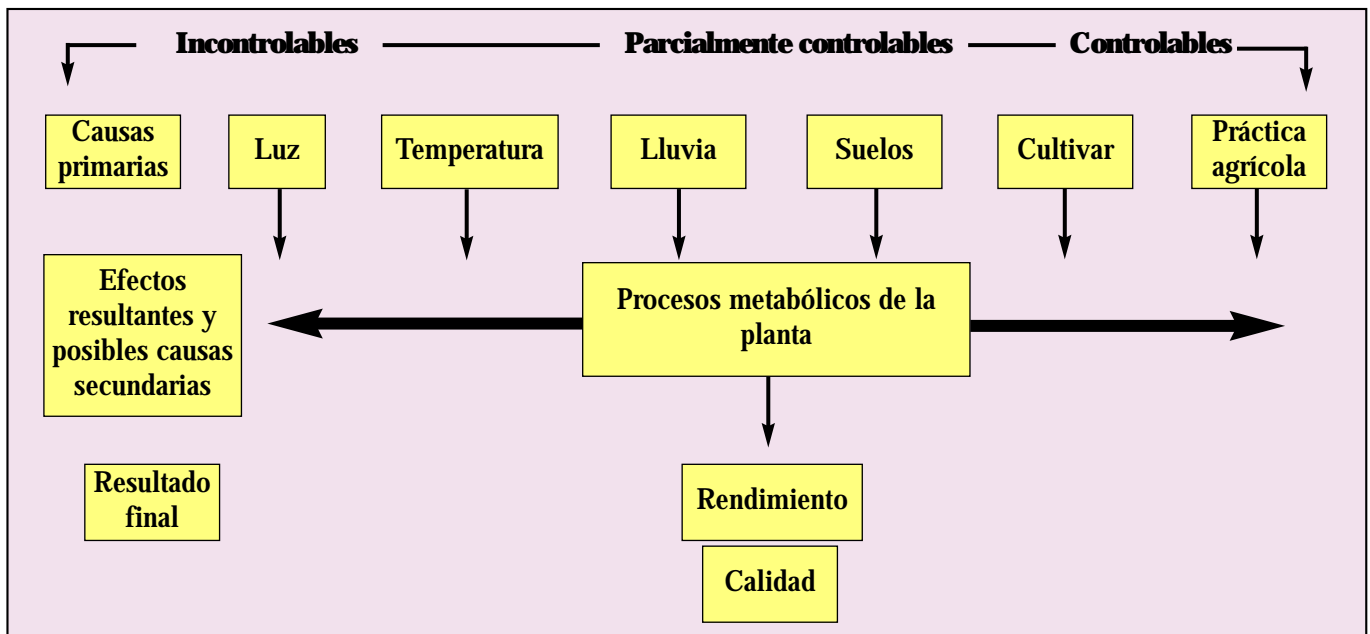


Figura 1. Esquema de las interrelaciones entre el rendimiento y calidad del cultivo, los procesos metabólicos y los factores externos y genéticos (Beaufils, 1973).

* El Dr. Malcolm Sumner es Profesor Emérito, Department of Crop and Soil Sciences, University of Georgia, Athens, GA 30622, USA.

Qué se puede esperar del análisis de suelo?

Los nutrientes en el suelo se hallan en distintas formas que hacen que varíe su nivel de disponibilidad. Por ejemplo, los nutrientes se encuentran en la solución del suelo (inmediatamente disponibles, pero en pequeñas cantidades), en forma intercambiable (rápidamente disponible en grandes cantidades), o dentro de la estructura cristalina de las arcillas (disponibles en grandes cantidades en forma lenta a muy lenta). Para que un análisis de suelo provea información significativa que permita predecir los requerimientos de fertilización de un cultivo, este debe ser capaz de determinar que cantidad del nutrientes (de las categorías arriba mencionadas) estará disponible para el cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento de la planta. Es mucho más fácil decirlo que hacerlo. La mayoría de los análisis de suelo se hacen usando soluciones extractantes, salinas o ácidas, que remueven una fracción del nutriente de cualquiera de los sitios de acumulación mencionados, pero no se conoce exactamente de cual. Como se ve, el análisis de suelos es una aproximación empírica y por esta razón, los resultados de la extracción deben reproducirse en forma exacta en cada análisis para que éste tenga validez. Debe recordarse que se asume que un extractante en particular puede remover en poco tiempo (5-30 minutos) una cierta cantidad del nutriente, la misma que equivale a la cantidad que absorbería un cultivo durante todo el ciclo de crecimiento. Es razonable esperar que esta aproximación pudiera presentar potenciales problemas. Recientemente, el uso de resinas aniónicas y catiónicas, que simulan con más exactitud la absorción de nutrientes por las raíces, ha ganado popularidad. De todas maneras, para poder interpretar los resultados de los análisis de suelos, éstos deben dividirse en categorías (bajo, medio o alto) que predigan la probabilidad de obtener respuesta a un nutriente en particular. Para lograr esto, se deben conducir experimentos de campo que sirvan para calibrar la respuesta a un nutriente en particular con los valores analíticos obtenidos de la muestra de suelo tomada en la parcela antes de fertilizar.

Por otro lado, el análisis foliar, que es semejante al análisis de sangre en las personas, indica lo que absorbió la planta de toda la oferta presente en el suelo. El análisis foliar está calibrado de manera similar al análisis de suelos y los resultados también se dividen en categorías (deficiente, suficiente y excesivo). Si el nivel foliar de un nutriente está en el rango de deficiencia, no necesariamente se observa respuesta a la aplicación de ese nutriente, si los niveles y el balance de otros nutrientes (u otros factores de la producción) no son óptimos. Además, es imposible determinar la cantidad de nutriente que debe aplicar al suelo, para cubrir una deficiencia, a partir del análisis foliar. Los

mismos argumentos expuestos anteriormente para análisis de suelos se pueden aplicar al análisis foliar. Una mejor estrategia es buscar la forma de optimizar el nivel de todos los nutrientes en el suelo y la planta. Esto potencialmente permite encontrar altos rendimientos, siempre y cuando ningún otro factor sea limitante.

El análisis de suelos y el análisis foliar son herramientas complementarias y se usan como guía para determinar cual o cuales son el o los factores nutricionales que limitan el crecimiento del cultivo. Si las muestras de suelo o de tejido son tomadas, analizadas o interpretadas incorrectamente, es imposible hacer un adecuado diagnóstico. Esto demuestra la importancia de contar con técnicos experimentados en esta cadena de eventos. Una buena recomendación de fertilización no puede hacerse en una computadora, ya que no es posible programar toda la experiencia de un agrónomo experimentado. Las respuestas en rendimiento solamente pueden esperarse cuando el contenido de nutrientes es limitante. El análisis de suelos y foliar cubre solamente 15-20 nutrientes (factores) de los más de 50 que gobiernan el crecimiento de los cultivos.

A pesar de todo lo discutido con respecto a las probabilidades de lograr una correcta recomendación de fertilización basándose en el análisis de suelo y foliar, esta estrategia ha sido exitosa a lo largo de los años. La razón de este éxito radica en el hecho de que los nutrientes son muchas veces más limitantes que otros factores de la producción y a que, como se verá más adelante, el análisis de suelo y análisis foliar bien realizados evalúan adecuadamente las necesidades de fertilización de los cultivos. La discusión que se presenta a continuación responde las preguntas más frecuentes con respecto al análisis de suelos.

Análisis de suelo

¿Qué es el análisis de suelos?

En general, se define como análisis de suelos a cualquier medición, química o física, hecha en el suelo. En forma particular, el análisis de suelos se refiere a cualquier análisis químico rápido para evaluar el nivel de nutrientes disponibles para la planta, la salinidad o acidez y los elementos tóxicos presentes en el suelo. Bajo el análisis de suelo también se incluyen las interpretaciones y evaluaciones de los resultados y las recomendaciones de fertilización y enmiendas que se basan en estos resultados (Peck y Soltanpour, 1990).

¿Cuándo se debe muestrear el suelo?

En el caso de cultivos anuales, como maíz, soya o arroz, las muestras deben tomarse al menos algunos

meses antes de la siembra, para dejar suficiente tiempo para hacer las determinaciones de laboratorio, interpretar los resultados, formular las recomendaciones de fertilización, comprar los fertilizantes y/o enmiendas y finalmente aplicarlos en el lote. En rotaciones, el cultivo de mayor beneficio económico debe tener la prioridad. En sistemas intensivos, las muestras deben ser tomadas preferentemente una vez al año, o al menos una vez cada dos años.

¿Cómo se debe tomar la muestra del suelo?

En cultivos bajo labranza convencional, se debe muestrear la capa arable a una profundidad de 10 a 15 cm. Bajo siembra directa (labranza cero) es preferible muestrear la capa superficial hasta 5 cm de profundidad, ya que todas las aplicaciones de nutrientes son superficiales y no se incorporan. Para representar adecuadamente un área de producción, lote o sector del lote, se deben tomar al menos 15-20 submuestras que conjuntamente forman una muestra compuesta. Las submuestras pueden tomarse al azar por todo el lote o en un zig-zag definido a través del lote (Figura 2). Los tubos de muestreo son preferibles, pero también se puede utilizar una pala de desfonde para hacer un corte vertical en el suelo. Las submuestras que corresponden a una muestra compuesta se mezclan cuidadosamente sobre una superficie plana o en un balde plástico para asegurarse una buena mezcla. Luego se esparce el suelo, se lo subdivide en 4 cuartos y se descartan 2. Se vuelve a mezclar y cuartear hasta que se tenga el volumen adecuado de suelo para enviar al laboratorio (alrededor de 500 g). Preferiblemente, la muestra debe secarse al aire, particularmente si pasa un extenso período antes que la muestra sea enviada al laboratorio. Se debe tener mucho cuidado para no contaminar la muestra. Nunca se deben utilizar bolsas viejas o previamente usadas (Sims, 1999).

¿Cuáles son los métodos que deben usarse para extraer los nutrientes del suelo?

Existe una amplia gama de extractantes disponibles, sin embargo, el laboratorio debe escoger el extractante apropiado para el tipo de suelo dominante en su área de influencia. Si bien el método de extracción con resinas (Nuerenberg et al., 1998) es usado para todo tipo de suelos, los extractantes más comunes para suelos tropicales son Bray 1 (0.025 MHCL+0.03 MNH₄F) (Bray y Kurtz, 1945) u Olsen modificado (NaHCO₃ + EDTA) para macro y micronutrientes (Olsen et al., 1954).

Debido a que las formas disponibles de N [amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻)], y en cierto modo el S (SO₄⁻²), cambian rápidamente de una forma a otra en cortos períodos de tiempo, no es frecuente analizar el suelo

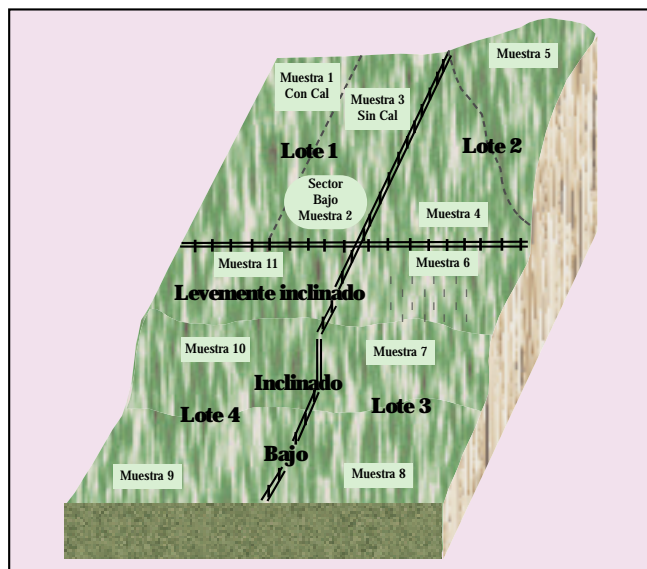


Figura 2. Ilustración de los métodos de muestreo de suelos para ambientes uniformes (Adaptado de Nebraska Agricultural Extension Service).

por estos nutrientes. Las recomendaciones de fertilización para N se basan generalmente en el rendimiento esperado y la mineralización potencial del suelo, mientras que las aplicaciones de S se hacen cuando se observan síntomas de deficiencia en el cultivo en años previos. Sin embargo, el análisis de NO₃⁻ residual se ha difundido en áreas de clima seco, donde las lluvias son insuficientes para lixiviar el NO₃⁻ por debajo de la zona de las raíces (Sims, 1999). Estos análisis presiembra requieren de un muestreo hasta una profundidad de 60 o incluso a 100 cm para determinar el contenido total de NO₃⁻ en el perfil, consecuentemente, el muestreo es muy laborioso. En regiones más húmedas, se ha desarrollado un sistema que determina la necesidad de la aplicación complementaria de N en maíz basándose en el análisis de NO₃⁻, que normalmente se hace cuando el cultivo se encuentra en el estado de 5-6 hojas desarrolladas. Este sistema sirve para prevenir los problemas de exceso de fertilización y requiere muestrear el suelo hasta 30 cm de profundidad cuando el cultivo tiene aproximadamente 30 cm de altura. La muestra debe ser rápidamente analizada e interpretada para permitir que la aplicación de N sea oportuna. Los análisis de N descritos anteriormente podrían pasar a ser obligatorios para prevenir la contaminación de napas freáticas con NO₃⁻. Situación que ocurre cuando las cantidades de NO₃⁻ en el perfil exceden los requerimientos de los cultivos (Figura 3). En ambos casos el extractante utilizado es KCl 2M.

El grado de acidez del suelo debe evaluarse midiendo primeramente el pH (preferentemente en una solución 0.01M CaCl₂). Cuando los valores de pH en agua son < 5.4 (o pHCaCl₂ < 5.0), se debe medir el aluminio extractable con una solución KCl 1M (Farina et al., 1980; van Lierop, 1990). La necesidad de encalado está determinada por la cantidad de aluminio

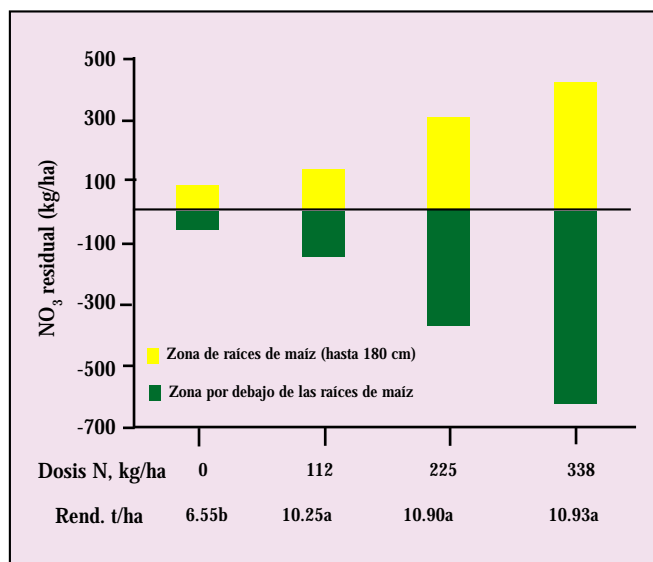


Figura 3 Acumulación de NO_3^- residual dentro y fuera de la zona radical de maíz bajo riego en suelos franco limosos (serie Cozad) en función de la dosis de N aplicado y el rendimiento obtenido. Letras distintas indican diferencias significativas en rendimiento ($p > 0,05$) (Olson et al., 1987).

intercambiable. En ciertos suelos se puede usar los métodos buffer, como el de Shoemaker, McLean y Pratt (Shoemaker et al., 1961). Los micronutrientes (Zn, Cu, Mn y Fe) se extraen generalmente extraídos con agentes acomplejantes como el DTPA (ácido dietilentriaminopentacético) (Lindsay y Norvell, 1978) y el boro (B) es extraído con agua caliente (Berger y Truog, 1940). En general, el análisis de micronutrientes es menos frecuente porque en muchos casos no se dispone de calibraciones adecuadas.

¿Cómo se calibran los análisis de suelo?

Los nutrientes se pueden extraer del suelo con cualquier solución química. El proceso químico no tiene complicaciones serias, particularmente con la tecnología actual. El mayor problema del análisis de suelo está en la calibración de los valores analíticos con los rendimientos del cultivo. En otras palabras, el número que reporta el contenido de nutrientes debe reflejar las condiciones nutricionales del suelo, es decir, si el contenido es bajo, el crecimiento y rendimiento del cultivo es pobre y se espera una buena respuesta a la aplicación del nutriente. Si el contenido es alto, el cultivo debe crecer y rendir bien y no se espera respuesta a la aplicación del nutriente. Cualquier análisis de suelos que no se haya calibrado simplemente presenta un número que no sirve para hacer una recomendación. La calibración apropiada se logra a partir de ensayos de campo en los cuales se documenta la respuesta en rendimiento a los diferentes contenidos de nutrientes obtenidos con un extractante en particular, en condiciones normales o buenas para el crecimiento de los cultivos. Datos de cultivos de bajos rendimientos no deberían tenerse en cuenta. Para

calibrar un análisis de suelos, para un nutriente determinado, se debe graficar los valores de análisis (con un extractante en particular) en función del rendimiento expresado como porcentaje del máximo rendimiento obtenido en los ensayos a campo en diferentes años, como se ilustra en la Figura 4.

Para determinar la relación entre el rendimiento óptimo del cultivo y el valor del análisis de suelo asociado con este rendimiento (93-95% del máximo rendimiento) se utilizan modelos matemáticos como el presentado en la Figura 4a. De igual manera, se puede usar el procedimiento de Cate-Nelson con el cual se generan cuadrantes sobre la dispersión de puntos dados el rendimiento del cultivo y su respectivo análisis de suelos. La línea horizontal se localiza en el óptimo rendimiento relativo y la línea vertical se coloca en el sitio que minimice los puntos que caigan en el cuadrante superior izquierdo y en el inferior derecho (Figura 4b). El valor del análisis de suelo correspondiente con la intersección de estas dos líneas es el denominado nivel o valor crítico. La parte de la curva con respuesta (por debajo del rendimiento óptimo) se subdivide en diferentes categorías que indican la probabilidad de obtener una respuesta a la aplicación de un nutriente en particular (Tabla 1).

La calibración del análisis de suelos descrita arriba necesariamente requiere de experimentos de campo formales que prueben niveles crecientes del nutriente y relacionen la respuesta en rendimiento con el análisis de suelo. Sin embargo, se puede lograr una buena aproximación cuando no se tiene las condiciones para conducir experimentación formal. Se pueden utilizar los datos de rendimiento y el análisis de suelo de lotes de productores para generar diagramas de dispersión

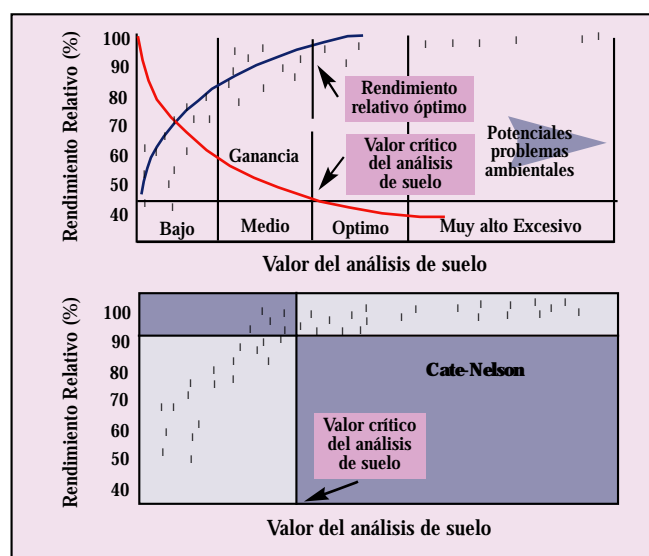


Figura 4 Esquema general de los principios de calibración del análisis de suelo usando (a) modelos curvilíneos y (b) aproximación por Cate-Nelson (Sims, 1999).

como se ilustra en la Figura 5. Luego se puede trazar límites con los datos para determinar las categorías de respuesta señaladas anteriormente (Tabla 1). En la Figura 5 se puede observar que los rendimientos se incrementan con los valores de análisis de suelo hasta llegar a un máximo y luego decrecen debido a algún otro factor limitante (nutriente). En este caso, el P gobierna el rendimiento únicamente en aquellos puntos cercanos a la línea límite, fuera de ella, cualquier otro factor menos el P es responsable de los rendimientos decrecientes. La cantidad de nutriente a aplicar para cada categoría de análisis de suelo se obtiene de calibraciones previas de la cantidad de nutriente necesaria para elevar el valor de análisis de suelo en un incremento dado (Figura 6).

¿Cómo se hacen las recomendaciones de fertilización?

Una vez que se han calibrado los análisis de suelo se conoce que un particular nivel de nutriente en el suelo puede producir un relativo dado. En función de la cantidad de nutriente requerido para elevar el valor del análisis de suelo en una unidad, es relativamente

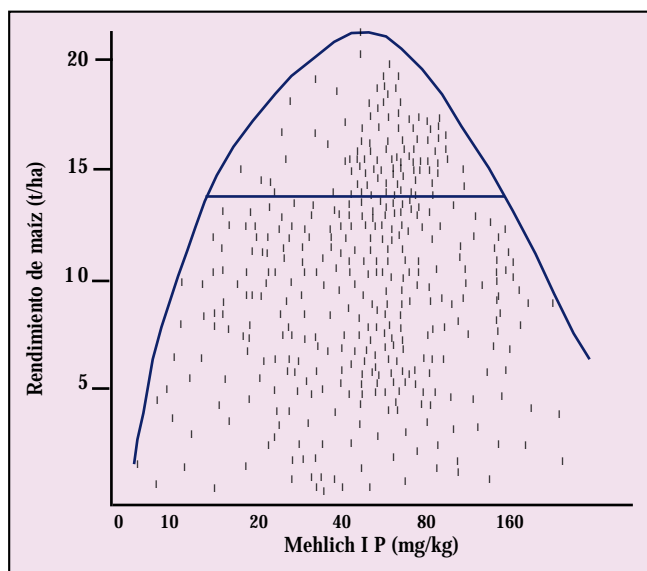


Figura 5. Diagrama de dispersión de los puntos de rendimientos de maíz en relación con el análisis de P realizado con la solución Mehlich I como extractante, junto con el límite horizontal de confinamiento en suelos de la planicie del sudeste costero del sudeste de Estados Unidos (Summer, 1987).

Tabla 1. Categorías de análisis de suelo y recomendaciones generales basadas en las respuestas de los cultivos y el impacto ambiental (Sims, 1999).

Categoría	Definición de la categoría	Recomendaciones
Respuesta del cultivo		
Por debajo del óptimo (muy por debajo, debajo, medio)	El nutriente es considerado deficiente y probablemente limite el rendimiento del cultivo. Existe una alta a moderada probabilidad de una respuesta económica a la aplicación del nutriente.	La recomendación de los nutrientes se basa en la respuesta de los cultivos y a través del tiempo se alcanzarán los rangos de óptima fertilidad. Se recomiendan fertilizantes de arranque en algunos cultivos.
Óptimo (suficiente, adecuado)	El nutriente se considera adecuado y probablemente no limitará el crecimiento del cultivo. Hay una baja probabilidad de respuesta económica al aplicar el nutriente.	Si se realizan anualmente los análisis de suelo, no es necesario agregar ningún nutriente para el cultivo actual. Si no se muestrea anualmente, se recomienda fertilizar para mantener la fertilidad del suelo en el rango óptimo. Se recomiendan fertilizantes de arranque en algunos cultivos.
Por arriba del óptimo (alto, muy alto, excesivo)	El nutriente es considerado más que adecuado y no limitará el rendimiento. Existe una probabilidad muy baja de encontrar respuesta económica al agregar un nutriente. En muy altos niveles existe la posibilidad de producir efectos negativos en el cultivo al aplicar el nutriente.	No se recomienda agregar ningún nutriente. En niveles muy altos a excesivos, una acción curativa será necesaria para prevenir problemas de fitotoxicidad o de medio ambiente.
Impacto ambiental		
Impacto ambiental potencialmente negativo	Con niveles muy altos de nutrientes existe un alto potencial de causar degradación ambiental y el monitoreo debe ser permanente. La probabilidad de que aparezca un problema ambiental depende del sitio (pendiente, hidrología, precipitaciones).	Si existe algún otro factor que minimice el impacto ambiental se lo debe manejar, generalmente otro nutriente para mantener balance. En caso de que otro factor más allá de nutrición promueva un potencial impacto ambiental, no se recomendarían aplicaciones de nutrientes. Una acción curativa podrá ser necesaria para proteger el ambiente.

Tabla 2. Recomendaciones de P y K para maíz bajo riego basándose en análisis de suelo en suelos arenosos de la Planicie Costera de Georgia (EEUU) usando Melich I como extractante.

Contenido de P en suelo, mg P/kg	Contenido K en el suelo, (mg K/kg)			
	Bajo; <30	Medio; 31-75	Alto; 76-125	Muy alto; >126
Recomendación de fertilización; N-P ₂ O ₅ -K ₂ O, kg/ha				
Bajo; <16	220*-125-150	220-125-100	220-125-80	220-125-0
Medio; 16-30	220-100-150	220-100-100	220-100-80	220-100-0
Alto; 31-50	220-80-150	220-80-100	220-80-80	220-80-0
Muy alto; >51	220-0-150	220-0-100	220-0-80	220-0-0

* Basado en una expectativa de rendimiento de 12.5 t/ha

Tabla 3. Respuesta del cultivo de cebada a la aplicación de fertilizante potásico para diferentes categorías de análisis de suelos en Alberta, Canadá (Walker, 1978).

Contenido de K en el suelo (0-15 cm)	Rango basado en la calibración	Proporción de respuesta en el campo	Incremento en rend. debido a la aplicación de K*
mg/kg	-----	%	-----
Extremadamente bajo	<25	100	>1000
Muy bajo	25-50	75	242
Bajo	50-75	66	47
Medio	75-100	24	30
Alto	100-125	18	34
Muy alto	>125	3	11

* Basado en una expectativa de rendimiento de 12.5 t/ha

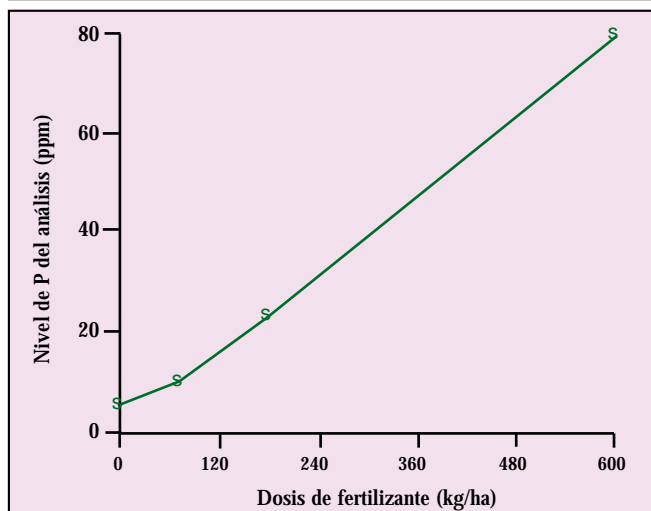


Figura 6. Efecto de la fertilización con P en el contenido de P (Olsen) en un suelo franco limoso calcáreo de Idaho (Westrman, 1977).

sencillo realizar la recomendación de fertilización. Esta información sale de los experimentos de calibración que probaron niveles del nutriente. Luego, las dosis de fertilizante requeridas se tabulan en tablas que relacionan los valores de análisis de suelo con el nivel recomendado del nutriente requerido. Estas tablas son las que se usan rutinariamente para diseñar las recomendaciones respectivas (Tabla 2).

¿Qué tan bien funcionan los análisis de suelo?

Se pueden citar muchos ejemplos que muestran que el análisis de suelo funciona en la práctica, sin embargo, aquí se presentan solamente casos. En la Tabla 3 se presenta un ejemplo de la respuesta a la fertilización con K recomendada siguiendo los patrones establecidos después de la calibración.

Bibliografía

- Beaufils, E.R. 1973. The Diagnosis and Recommendation Integrated System. Univ. of Natal Soil Sci. Bul. 1.
- Berger, K.C., and E. Truog. 1940. Boron deficiency as revealed by plant and soil tests. J. Am. Soc. Agron. 32:297-301.
- Bray, R.H., and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59:39-45.
- Farina, M.P.W., M.E. Sumner, C.O. Plank, and W.S. Letsch. 1980. Exchangeable aluminum and pH as indicators of lime requirement for corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1036-1040.
- Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
- Nuerenberg, N.J., J.E. Leal, and M.E. Sumner. 1998. Evaluation of an anion-exchange membrane for extracting plant available phosphorus in soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 29:467-479.
- Olson, R.A., F.N. Anderson, K.D. Frank, P.H. Grabouski, G.W. Rehm, and C.A. Shapiro. 1987. Soil testing interpretations: Sufficiency vs. build-up and maintenance. pp. 41-52. In J.R. Brown (Ed.) Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Peck, T.R., and P.N. Soltanpour. 1990. The principles of soil testing. pp. 1-9. In R.L. Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Shoemaker, H.E. E.O. McLean, and P.F. Pratt. 1961. Buffer methods of determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25:274-277.
- Sims, J.T. 1999. Soil fertility evaluation. pp. D113-D153. In M.E. Sumner (Ed.) Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sumner, M.E. 1987. Field experimentation: Changing to meet current and future needs. pp. 119-131. In J.R. Brown (Ed.) Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- van Lierop, W. 1990. Soil pH and lime requirement determination. pp. 73-126. In R.L. Westerman (Ed.) Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Walker, D.W. 1978. Potassium fertilization in central Alberta. Better Crops Plant Food 62:13.
- Westermann, R.L. 1977. Proc. 28th Ann. Northwest Fert. Conf. pp. 141-146.