

6. EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Gildardo Marín Morales *

6.1. INTRODUCCION

El conocimiento de la fertilidad de los suelos es básico para lograr una mayor producción de cosecha, pues indica cuándo es necesario añadir fertilizantes para obtener máximos rendimientos sin agotar los suelos.

La fertilidad se define como el estado del suelo con respecto a la cantidad y disponibilidad para las plantas de los elementos necesarios para su crecimiento y producción.

Los elementos del suelo reconocidos como esenciales para el crecimiento de las plantas se agrupan de la siguiente manera: (1) los primarios, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); (2) los secundarios, calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) y (3) los menores, manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Las siguientes técnicas se emplean en forma complementaria para conocer con alguna aproximación el estado de fertilidad de un suelo: (1) síntomas visuales de deficiencias nutricionales en las plantas; (2) pruebas biológicas; (3) análisis de plantas y (4) análisis del suelo.

* Ingeniero Agrónomo M.S. Programa de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Tibaitatá. Apartado Aéreo 151123, Bogotá, D.E.

El presente capítulo tiene como objetivo hacer una descripción muy general de las técnicas utilizadas para evaluar la fertilidad de los suelos y discutir brevemente las ventajas y limitaciones de éstas.

5.2. SÍNTOMAS VISUALES DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN LAS PLANTAS

Muy a menudo se observa en los campos de cultivo que el desarrollo de las plantas no es normal. Las plantas pueden exhibir síntomas generales o específicos como consecuencia de una nutrición deficiente. Por ejemplo, una clorosis general o un color verde pálido en las hojas son indicios de una deficiencia de nitrógeno o de azufre.

Los síntomas visuales de deficiencias nutricionales en las plantas como técnica para diagnosticar la fertilidad de los suelos tienen un gran mérito, en el sentido de que la planta es indicadora de todos los factores del crecimiento. Esta técnica bien utilizada da resultados sorprendentes, especialmente en aquellas áreas donde se conoce muy poco a través de otras técnicas.

5.2.1. Clasificación de los Síntomas.

Los síntomas de deficiencias nutricionales en las plantas pueden aparecer en uno o varias de las formas siguientes:

- Mal desarrollo de las plantas en el semillero.
- Estancamiento severo del desarrollo de las plantas.

- Síntomas específicos en las hojas y en los frutos.
- Anormalidades internas o necrosis de tejidos.
- Mala formación de diferentes partes de la planta, lo que incide en la calidad de la cosecha.

Aunque el conocimiento de los síntomas de deficiencias nutricionales es una herramienta muy útil para determinar las necesidades de nutrimentos se debe tener mucho cuidado al interpretarlos, en especial cuando se presentan simultáneamente las deficiencias de dos o más elementos.

Las deficiencias nutricionales en las plantas pueden ser relativas. El mal drenaje de los suelos impide la absorción normal de nutrimentos de las plantas y por tanto crea deficiencias.

El sobrecalentamiento de los suelos ácidos y el exceso de sales en suelos neutros o alcalinos pueden provocar deficiencias, principalmente de algunos elementos menores tales como hierro y manganeso (14).

También la deficiencia de un elemento puede ser provocada por cantidades excesivas de otro elemento. Por ejemplo, la deficiencia de manganeso, puede resultar al añadir cantidades excesivas de hierro al suelo, especialmente si el manganeso está muy cercano del punto crítico. De igual modo, la fertilización fosfórica alta y frecuente en el cultivo de maíz induce deficiencias de zinc en estas plantas (14).

En el campo es a menudo difícil distinguir entre varios de los síntomas de deficiencias nutricionales. No es infrecuente el caso de que el daño originado por una enfermedad o insecto se parezca a ciertas deficiencias de elementos menores. Por ejemplo se puede confundir el daño del "insecto saltador de la hoja de alfalfa" con la deficiencia de boro en esta planta (10).

Un síntoma es un efecto secundario y puede resultar de más de una causa. Por ejemplo, la acumulación de azúcar en maíz puede combinarse con flavonoides para formar antocianinas que producen pigmentos de color púrpura rojo y amarillo en las hojas. El color púrpura sin embargo es la manifestación típica de la deficiencia de P en las plantas (10).

El cofactor de la enzima nitrato-reductasa. Cuando existe deficiencia de este elemento en la planta se presenta una acumulación de nitratos a niveles altos y disminuye notablemente la síntesis de aminoácidos y proteínas, especialmente cuando se utilizan nitratos como fuente de nitrógeno (10).

6.2.2. Oportunidad del Diagnóstico.

Para diagnosticar y corregir las deficiencias de nutrimentos en las plantas el agricultor debe observar las plantas jóvenes muy cuidadosamente, pues una vez se haya determinado una deficiencia en este estado es posible corregirla con dosis apropiadas de fertilizantes, en especial si se trata de nitrógeno o de un elemento menor. Sin embargo, algunas veces la deficiencia es tan severa que no puede corregirse en el mismo período de siembra (7).

En síntesis, el conocimiento y uso apropiado de los síntomas de deficiencias nutricionales en las plantas, en combinación con otros métodos de diagnóstico tales como el análisis de la planta y el suelo, pueden ser de mucha ayuda para hacer recomendaciones de fertilizantes.

6.2.3. El Hambre Escondida.

El hambre escondida se refiere a la situación en la cual una cosecha necesita más cantidad de un nutrimento en particular para alcanzar el óptimo crecimiento y rendimiento sin mostrar síntomas de deficiencia (Figura 6.1). Este diagnóstico solamente se logra con ensayos de fertilización, los cuales además proporcionan información sobre las dosis óptimas de fertilizantes.

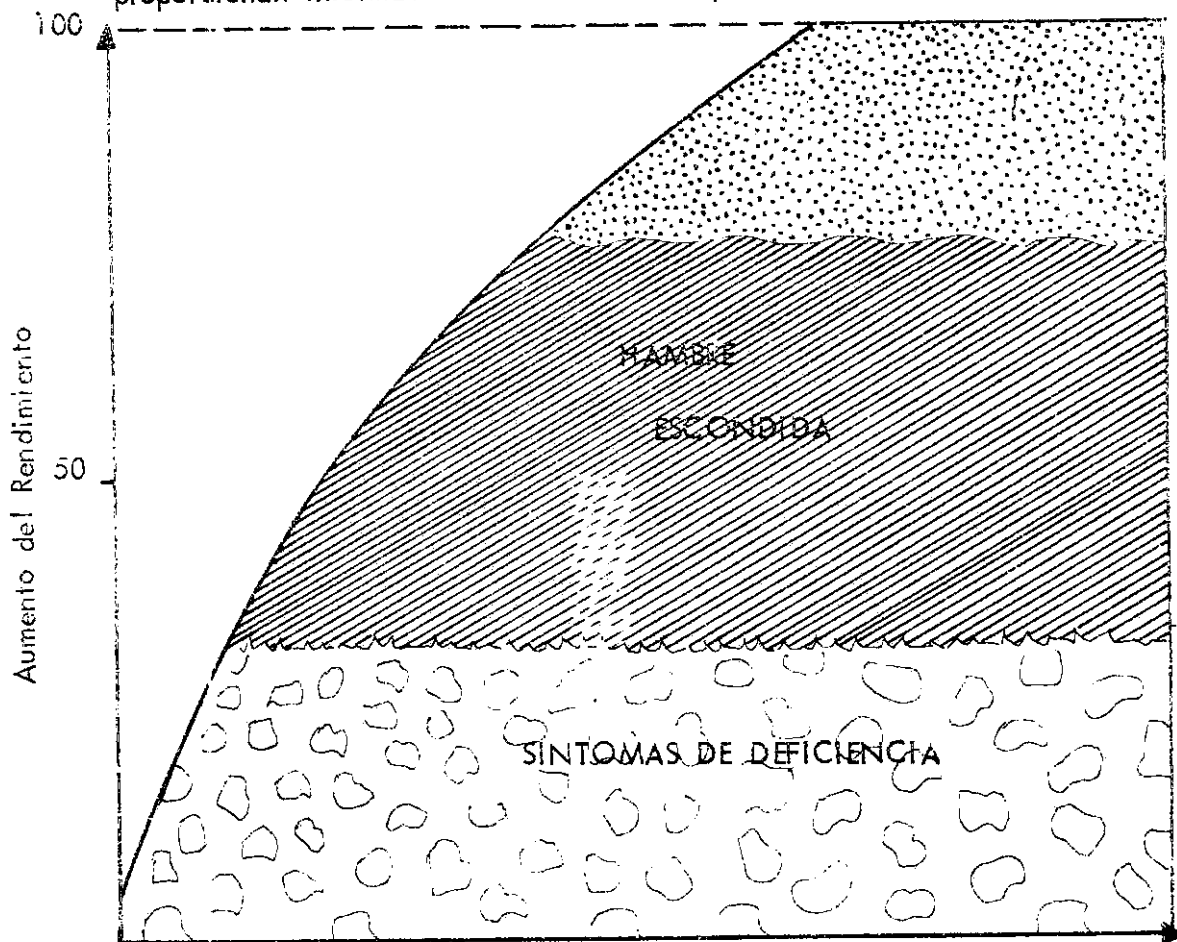


FIGURA 6.1. Interpretación del hambre escondida en las plantas. Tomada de Tisdale y Nelson (14).

6.3. LAS PRUEBAS BIOLÓGICAS

En las pruebas biológicas se utilizan plantas en crecimiento para determinar el estado de fertilidad de los suelos. La utilización de plantas en crecimiento indudablemente refleja mejor el estado nutricional de los mismos. Las pruebas biológicas se pueden dividir en las siguientes categorías: (1) pruebas microbiológicas; (2) pruebas de invernadero y (3) experimentos de campo.

6.3.1. Pruebas Microbiológicas.

Muy a menudo se utilizan algunos microorganismos en técnicas de laboratorio para evaluar el estado de fertilidad de los suelos. En estas pruebas se incluyen básicamente dos procedimientos: (1) ensayos en platos de crecimiento y (2) ensayos de incubación. Los ensayos en platos de crecimiento incluyen bacterias como el Azotobacter u hongos como el Aspergillus y el Cunninghamella.

En las pruebas de incubación se determina la cantidad del elemento liberado del suelo por acción de microorganismos; por ejemplo, la producción de nitratos a partir de la descomposición de la materia orgánica.

1. Método del Azotobacter. Esencialmente el método consiste en la preparación de un medio de cultivo con el suelo en cuestión. A una porción se le agrega P, a otra porción se le agrega K y a una tercera se le agregan ambos elementos. Los medios de cultivo se inoculan luego con Azotobacter y se dejan en incubación durante 72 horas. El suelo se califica de muy defi -

ciente a no deficiente en los respectivos nutrimentos dependencia del grado de crecimiento de la colonia desarrollada (10).

.2. Método del Aspergillus niger. El uso del Aspergillus niger como un indicador biológico de la fertilidad del suelo fue sugerido desde 1909. Este método se usa especialmente para determinar el grado de aprovechabilidad de K en los suelos. El método consiste en incubar pequeñas cantidades de suelos por un período de cuatro días, en erlenmeyers que contienen las soluciones apropiadas de nutrimentos. El peso del micelio o la cantidad de K absorbida por el micelio es la medida de la deficiencia del nutrimento. Un ejemplo de este criterio para determinar el grado de deficiencia de potasio se ilustra en la Tabla 6.1.

TABLA 6.1. Potasio absorbido por el Aspergillus niger y su relación con la deficiencia de potasio en el suelo.

Peso de 4 micelios	K ₂ O absorbido por el <u>Aspergillus niger</u> por 100 g de suelo	Grado de deficiencia de potasio en el suelo
1,4 g	15 mg	Muy deficiente
1,4 a 2,0 g	15 a 20 mg	Moderado
2,0 g	20 mg	No deficiente

A este método se le hizo posteriormente una modificación para diagnosticar Ca y Mg que consiste en determinar el grado de deficiencia de estos elementos por

el color del micelio y de las esporas. Este organismo se emplea también para detectar deficiencias de elementos menores en el suelo como el Mo y el Mn.

.3. Método del Cunninghamella. Este método fue desarrollado por Adolph Mehlich en Carolina del Norte y está basado en la sensibilidad del organismo Cunninghamella al contenido de P en su medio de crecimiento. El suelo se mezcla con la solución nutritiva; se hace una pasta que se distribuye uniformemente en un plato de arcilla; se inocula la pasta en la superficie en el centro del plato y se deja incubar durante 4 a 5 días. La cantidad de P presente en el suelo se estima de acuerdo al diámetro del micelio en crecimiento.

6.3.2. Pruebas de Invernadero.

En las pruebas de invernadero las plantas crecen en materas de varios tamaños, generalmente de uno a cinco litros de capacidad. Algunas veces se mezcla al suelo en estudio arena blanca bien lavada para mejorar sus propiedades físicas y se le adicionan soluciones nutritivas o fertilizantes en diferentes dosis y en varias repeticiones.

Los ensayos en materas se han realizado con la mayoría de las plantas anuales de cultivo, tales como avena, sorgo, alfalfa, trébol, maíz, trigo y tabaco. La lechuga romana y el girasol se utilizan a menudo para estudios de elementos menores por ser muy sensibles a estas deficiencias.

.1. Método de Neubauer. Este método, desarrollado por Neubauer en 1932,

consiste en el crecimiento de 100 plántulas de arroz, trigo, cebada o centeno, en 100 g de suelo diluidos con 50 g de arena. En esta forma las plantas realizan una absorción muy intensa de los nutrimentos del suelo.

En platos de 11 cm de diámetro y 7 cm de altura se coloca el suelo diluido y se siembran 100 semillas de la planta escogida. Similarmente 100 semillas se siembran en sólo arena. Después de un período de crecimiento de 14 a 18 días se cosechan la parte aérea y las raíces y luego se analizan químicamente.

La diferencia entre la cantidad de nutrimentos determinada en las plántulas crecidas en el suelo y las crecidas en arena indica la cantidad de nutrimentos obtenidos del suelo. Esta cantidad expresada como miligramos por 100 g de suelo se conoce como número Neubauer. Estos números pueden interpretarse en relación a ciertos valores límites, pero se asumen los valores mínimos para satisfacer las necesidades del cultivo.

Por ejemplo seis miligramos de P_2O_5 es el valor límite de fósforo para el trigo. Si el valor obtenido para una muestra de suelo es menor de seis indica que el suelo no proporcionará suficiente fósforo para obtener un rendimiento satisfactorio del trigo (10).

La técnica de Neubauer es muy útil tanto para elementos mayores como menores y tiene la ventaja de que las mismas plantas actúan como extractoras fuentes de los nutrimentos del suelo.

.2. Método de Jenny. En este método se usa como planta indicadora la lechuga romana (Lactuca sativa L.) debido a su rápido desarrollo, a que relativamente está libre de plagas y enfermedades y a que es muy sensible a la deficiencia de nutrimentos en el suelo, especialmente a la de P y elementos menores. Sirve para determinar las necesidades de N, P, K, S y los requerimientos de cal en los suelos (8).

La lechuga se siembra primero en semilleros y luego se transplanta a materas de barro donde se deja crecer durante seis semanas. Las materas se pintan por dentro y por fuera con dos capas de pintura asfáltica, además de una capa de aluminio en la parte exterior. A cada matera se le agregan 1.600 gramos de suelo seco al aire y tamizado. Los nutrimentos se aplican en solución en el momento de la siembra o trasplante: el N en forma de nitrato de amonio, el P como fosfato monocálcico y el K como sulfato de potasio. Los elementos se agregan en unidades de 80 miligramos por matera, lo que corresponde aproximadamente a 100 kg/Ha. Las lechugas se dejan crecer en las materas durante seis semanas y luego se cosechan, se secan en una estufa a 70°C y se pesan. Los resultados se expresan en términos de rendimiento relativo.

Según Jenny y otros (8) los rendimientos relativos son menos variables que los rendimientos absolutos y se consideran como una medida del poder del suelo para suplir un nutrimento. A mayor rendimiento relativo corresponde un mayor contenido del nutrimento en el suelo (Tabla 6.2). El método de Jenny se

puede emplear en estudios con macroelementos y microelementos y con frecuencia se ha modificado para adaptarlo a estudios especiales.

TABLA 6.2. Escala tentativa para estimar deficiencias de nutrimentos de acuerdo con los rendimientos relativos de Jenny (8).

Nutrimento bajo estudio	Rendimientos relativos		
	Deficiencia definida	Deficiencia probable	Deficiencia incierta
N	Menos del 20	20 a 50	51 a 70
P	Menos del 20	20 a 50	51 a 65
K	Menos del 70	70 a 75	76 a 80
S	Menos del 66	66 a 76	77 a 83
Calcio	Menos del 55	55 a 73	74 a 80

3. Método de Colwell. El método se basa en la extracción de boro del suelo mediante el crecimiento masivo de plantas de girasol (Helianthus annuus L.). Se colocan 500 g de suelo en una matera. El suelo recibe una solución de todos los nutrimentos menos B y luego se siembran 5 semillas de girasol. El criterio para determinar la deficiencia de B en el suelo es el número de días requeridos para que las primeras cinco plantas exhiban los síntomas de deficiencia de B. El suelo se clasifica con deficiencia marcada de B si los síntomas aparecen antes de 28 días, deficiencia moderada si los síntomas aparecen entre los 28 y 36 días y poca o ninguna deficiencia si el tiempo es mayor a los

36 días.

6.3.3. Experimentos de Campo.

Los datos más utilizados en la determinación de las dosis óptimas de fertilizantes se derivan principalmente de los experimentos de campo. Estos experimentos son considerados como el método biológico más antiguo y más adecuado para determinar la fertilidad de los suelos.

En 1834 J.B. Boussingault (1802 - 1882) introdujo los experimentos de campo en su granja de Bechelbrom en Alsacia (Francia), los cuales fueron seguidos por los de J.B. Lawer y J.H. Gilbert, en la Estación Experimental de Rothamsted, Inglaterra.

El enfoque moderno en los experimentos de campo sobre uso de fertilizantes supone que la variabilidad en la respuesta a los fertilizantes entre sitios de un área de estudio se origina principalmente de diferencias mensurables en los factores suelo, planta, clima y manejo. Los experimentos se deben localizar entonces de tal manera que representen las diferencias principales de suelo y clima (15).

Mediante los experimentos de campo, llevados a cabo de esta manera, es posible determinar una relación cuantitativa entre rendimiento del cultivo, fertilizantes aplicados y condiciones de productividad para una región dada. Los datos que se obtienen de estos experimentos también se usan para calibrar pro

cedimientos analíticos de suelo y planta, los cuales, subsecuentemente, son útiles al hacer recomendaciones de fertilizantes para condiciones específicas de producción.

Debido a su costo, al tiempo necesario para obtener resultados, a las propiedades físicas que pueden variar mucho dentro del mismo tipo de suelo y al área que requieren, estos ensayos son relativamente poco comunes. No obstante, son muy útiles para formular recomendaciones generales de fertilizantes. Cuando se llevan a cabo numerosos experimentos en una región dada, en suelos que están bien caracterizados, las recomendaciones basadas en tales estudios pueden extrapolarse a otras con características similares.

6.4. EL ANÁLISIS DE LA PLANTA

El análisis químico de la planta es una herramienta muy valiosa en la práctica de la fertilización de los cultivos. Sirve para determinar más exactamente el estado nutricional de la planta, puesto que ésta es el reflejo de todos los factores que intervienen en su crecimiento y de sus interacciones con el medio ambiente donde crece.

Dos tipos generales de análisis de plantas son de uso común:

- El análisis que se hace en el campo sobre tejido fresco y
- El análisis químico llevado a cabo en el laboratorio.

En términos generales, los análisis de la planta están basados en la idea de que la cantidad de un elemento dado, encontrado en la planta, indica la cantidad de ese elemento aprovechado por la planta (13).

El análisis químico mide los elementos que ya han sido incorporados al tejido vegetal, mientras que el análisis rápido de tejidos mide solamente los constituyentes solubles en el jugo celular. Estos análisis no se usan muy ampliamente puesto que requieren demasiada investigación en técnicas de muestreo y calibración.

Los análisis rápidos son muy importantes para indicar contenidos bajos, medios o altos de los elementos N, P y K en el jugo celular. Estos ensayos también son usados para algunos micronutrientes.

El tiempo crítico para la prueba generalmente es la emergencia, la floración y la formación de la semilla, o sea, cuando la planta utiliza la mayor cantidad de nutrientes y por lo tanto, las épocas de crecimiento cuando aparecen las deficiencias (7).

Los análisis de la planta se hacen por las siguientes razones:

- Ayudan a determinar el poder de suministro de nutrientes del suelo al usarlos en combinación con el análisis del suelo.
- Complementan la identificación de síntomas de deficiencias nutricionales.

- Determinan el efecto del tratamiento fertilizante en la aprovechabilidad por las plantas.
- Estudian la relación entre el estado nutricional de la planta y la producción.
- Reconocen extensas áreas deficientes en nutrimentos de las plantas.
- Interesan a los agricultores en el análisis de suelos, cuando se trata de análisis rápidos.

El empleo del diagnóstico foliar en el trópico ha tenido mucha aplicación en el caso de cultivos perennes, especialmente en Palma Africana.

La relación entre el contenido de un nutrimento dado en la hoja y el crecimiento o cosecha de la planta, que crece en un medio deficiente en solo ese nutrimento, suele seguir la curva de la Figura 6.2 cuando se efectúan aplicaciones crecientes de éste al medio (6).

En la zona llamada deficiencia severa (2) al aumentar la cantidad de nutrimento aplicado al medio se produce un crecimiento de la planta, pero la concentración del nutrimento en la hoja disminuye; este fenómeno parece estar relacionado con un proceso de dilución y se denomina "Efecto Steemjer" por haber sido descubierto por este investigador. La zona b indica un aumento en el crecimiento sin variación en el contenido del nutrimento. Estas dos zonas

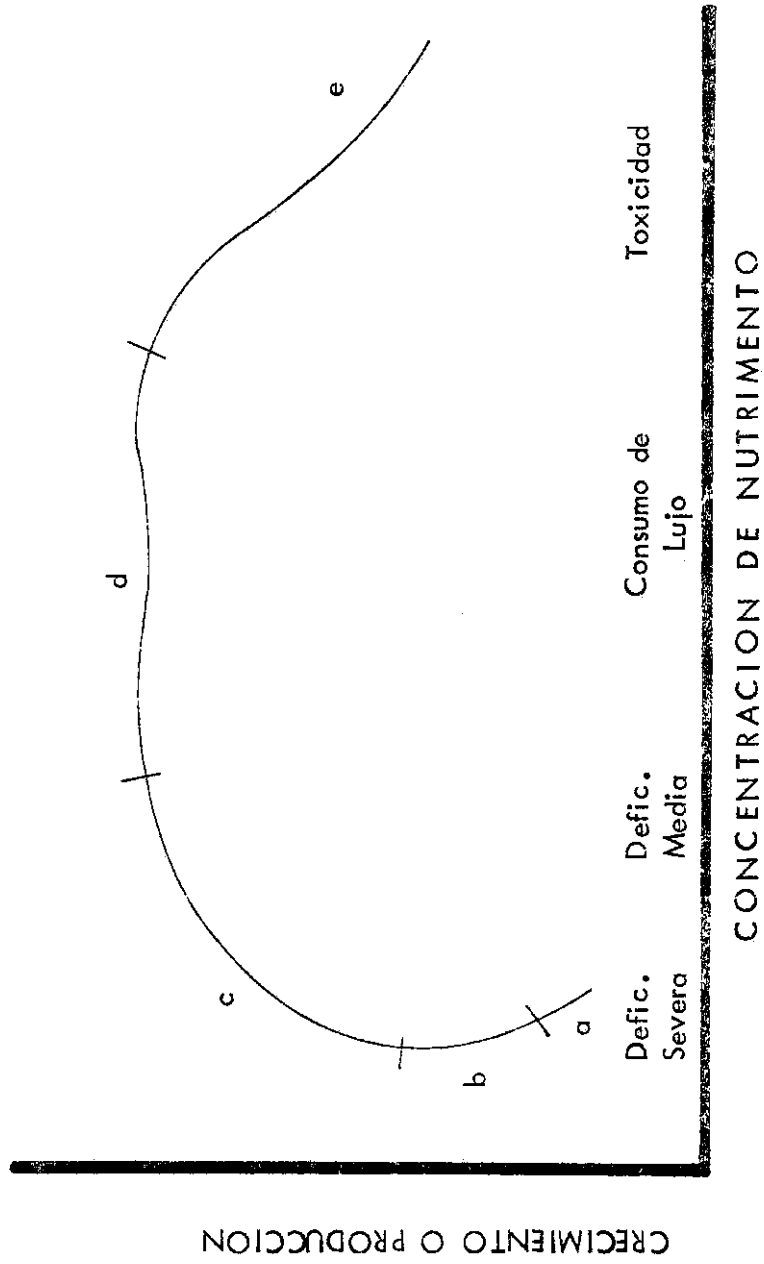


FIGURA 6.2. Relación entre contenido de nutrimento en la planta y producción. Tomada de Galiano (6).

no se encuentran corrientemente en los cultivos en el campo. En la zona c ocurre un aumento simultáneo en la concentración de nutrimento en la hoja y en el crecimiento o producción hasta llegar a un punto en que comienza la zona d, en donde la producción permanece relativamente constante a pesar de un aumento rápido en la concentración de nutrimento en la hoja; la concentración que corresponde a este punto de separación de las zonas c y d se suele llamar "concentración o nivel crítico"; por encima de él se presenta un consumo "excesivo" del nutrimento. La zona e muestra que, cantidades excesivas del nutrimento en la hoja ocasionan disminución en la cosecha, desequilibrio o toxicidad.

La correcta interpretación de los resultados obtenidos en el análisis foliar es la parte más compleja del método debido a los múltiples factores que intervienen en el contenido de nutrimentos en las hojas. La interpretación requiere en primer término estudios previos para establecer los índices o la concentración de nutrimentos en las hojas, que corresponden a un estado de nutrición bajo, medio, adecuado o excesivo, del cultivo que se va a diagnosticar (6).

La correcta interpretación del análisis foliar así como las recomendaciones de fertilización en un cultivo dado requieren un conocimiento de las características físico-químicas del suelo, ya que la absorción de nutrimentos por la planta está influenciada por la naturaleza y condiciones del suelo. El análisis foliar indica si el cultivo se halla deficiente en un determinado nutrimento, pero nada nos dice del por qué de la deficiencia (6).

Así, un bajo contenido de potasio en la hoja puede proceder de un alto contenido de calcio en el suelo por tratarse de un suelo calizo o por un excesivo encalamiento. El análisis foliar no excluye por tanto el análisis del suelo; antes al contrario ambos se complementan para una acertada solución del problema nutricional. No cabe duda de que el conocimiento de los demás factores que intervienen en el desarrollo de las plantas es muy importante. Por ejemplo, un bajo contenido de nitrógeno en la hoja de la caña de azúcar puede deberse a una escasez de riego o bien a un drenaje deficiente.

La interpretación apropiada de un análisis de plantas se basa principalmente en la especie de planta, en la parte analizada y en el estado de crecimiento. Una interpretación evalúa o clasifica la concentración del elemento en la parte de la planta analizada (16).

La evaluación más simple consiste en clasificar la concentración del elemento en una de las siguientes categorías: suficiente e insuficiente. Sin embargo, la tendencia es tener varias categorías de clasificación (16). En algunos países donde existen programas de análisis de plantas bastante desarrollados se usan hasta cinco categorías para interpretar el análisis, así: deficiente, bajo, suficiente, alto y excesivo. Estos términos se definen como sigue:

- Deficiente: las plantas estarían mostrando síntomas visibles de una deficiencia nutricional.
- Bajo: las plantas pueden ser normales en apariencia, pero probablemente

responderán a la fertilización con el elemento señalado como bajo.

- Suficiente: las plantas son normales en apariencia y tienen adecuada concentración de este elemento para producir rendimientos máximos.
- Alto: las plantas son normales en apariencia y pueden esperarse rendimientos óptimos. Sin embargo, la concentración de este elemento es más alta de la normalmente anticipada.
- Excesiva: las plantas muestran claros síntomas visibles de un desorden nutricional o tienen apariencia anormal. El rendimiento puede reducirse apreciablemente por el exceso de este elemento.

El concepto del valor crítico ha sido usado ampliamente entre los interpretadores del análisis de plantas. Un valor crítico es una concentración por encima de la cual ocurre suficiencia y por debajo de la cual ocurre deficiencia, y está asociado con las partes específicas de la planta muestreada en un período definido en el ciclo de crecimiento. Los niveles críticos no tienen en cuenta las interacciones entre los elementos. Este quizás es uno de los principales problemas del análisis foliar ya que si no se dispone de estos valores, la interpretación del análisis es casi imposible (1).

6.5. EL ANALISIS DEL SUELO

A pesar de que los métodos biológicos para determinar la fertilidad de los suelos tienen ciertas ventajas, el análisis de suelos es un método más rápido y

tiene la ventaja de que las necesidades de fertilizantes pueden determinarse antes de la siembra.

El propósito fundamental del análisis es caracterizar el factor suelo para tomar decisiones sobre el uso de fertilizantes y enmiendas. El agricultor siempre se enfrenta a tomar la decisión de cuánto fertilizante debe aplicar para obtener las mayores ganancias con las menores inversiones.

Por otra parte, los resultados de los análisis de suelos proporcionan una valiosa información sobre la acidez, alcalinidad y estado de fertilidad de los mismos dentro de una determinada área o región geográfica. Los datos recopilados se pueden utilizar para identificar aquellos nutrimentos que pueden ser deficientes en los suelos y también para enfocar la atención sobre los fertilizantes necesarios para suplirlos (5).

En resumen los análisis de suelos se utilizan para:

- Agrupar los suelos en clases y así hacer las sugerencias pertinentes sobre necesidades de cal y fertilizantes.
- Predecir las posibilidades de lograr resultados beneficiosos mediante la aplicación de fertilizantes al suelo.
- Ayudar a evaluar la productividad del suelo.
- Determinar las condiciones específicas del suelo que pueden ser mejoradas mediante la adición de enmiendas y prácticas de cultivo.

Para lograr sus objetivos, el análisis de suelos incluye varias fases, todas ellas de mucha importancia para una utilización correcta de los resultados. Tales fases son: (1) la toma de muestras para analizar; (2) los procedimientos de laboratorio; (3) la calibración del análisis con ensayos de fertilizantes; (4) la interpretación del análisis y (5) las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas.

6.5.1. La Muestra de Suelo.

El análisis de suelos se inicia con la recolección de la muestra en el campo, de tal modo que los resultados analíticos sean representativos del área total. El primer principio básico del programa del análisis de suelos es que la muestra se tome de tal forma que el análisis químico refleje lo más cercanamente posible el verdadero estado nutritivo del suelo. Esto no quiere decir que todas las muestras deben dar los mismos resultados en el análisis, sino que los resultados deben indicar las variaciones existentes dentro del terreno (12).

La necesidad de tomar una buena muestra de suelos es tan reconocida que casi es innecesario mencionarlo. Sin embargo, tomar apropiadamente una muestra de suelo es uno de los factores más importantes entre los que limitan la seguridad de los resultados del análisis de suelos. La toma inadecuada de la muestra del suelo se debe principalmente a la pereza para seguir las instrucciones.

6.5.2. Métodos de Análisis.

Una vez que la muestra de suelo ha sido recolectada y preparada debe determinarse su nivel de nutrimentos aprovechables. Por nutrimento aprovechable generalmente se quiere decir: "la forma (o formas) química en el suelo de un nutrimento esencial de las plantas (en el suelo) cuya variación en cantidad se reflejará en variaciones en el crecimiento de la planta y en el rendimiento". El método químico usado es muy importante; debe mostrar una relación definida entre el incremento de la medida del nutrimento aprovechable y la disminución de la respuesta de la cosecha en el campo (2).

Las técnicas de laboratorio sobre métodos de análisis de suelos varían amplia-mente y son útiles siempre y cuando conduzcan a una medida precisa de las formas aprovechables de los varios nutrimentos de las plantas. Hay muchas maneras de determinar químicamente un nutrimento en un extracto del suelo, pero solamente se aceptan las combinaciones de métodos y técnicas que dirigen a resultados seguros y reproducibles. El análisis del extracto de suelo no presenta un problema serio cuando se realiza para agricultura y es uno de los medios más eficientes para reducir errores analíticos, asegurar uniformidad de los resultados y aumentar la velocidad con la cual pueden hacerse los análisis de ruti-na.

6.5.3. Calibración del Análisis de Suelos.

La calibración del análisis de suelos se define o se describe simplemente como

la "relación que existe entre el crecimiento de las plantas y la contribución de un nutrimento en particular". Su nivel en el suelo se mide por algún método químico o biológico. Al seleccionar suelos que tienen un límite amplio de concentración del nutrimento se puede predecir, dentro de ciertos límites, la respuesta posible de la cosecha cuando una cantidad dada de ese nutrimento es añadida al suelo (5).

Los requerimientos de fertilizantes varían de acuerdo a las condiciones del suelo y al tipo de planta. Por esta razón es preciso correlacionar el análisis de suelos con la respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes bajo una amplia gama de condiciones ambientales. Debe recordarse que los ensayos de campo generalmente incluyen datos obtenidos bajo condiciones muy heterogéneas es decir localidades diferentes, variedades distintas, suelos muy disímiles en fertilidad y regiones con clima muy variable de un año a otro.

En la Tabla 6.3. se presentan algunos datos tomados de Navas y Asociados (9) que indican la probabilidad de respuesta del trigo a la fertilización fosfórica cuando se siembra en suelos con diferentes contenidos de fósforo extractable, por varios métodos. Para establecer la probabilidad de respuesta, los autores consideraron como respuestas positivas a la aplicación de fósforo aquellas superiores al 20% y como negativas aquellas inferiores a este porcentaje.

Cate y Nelson (3) observaron que la configuración peculiar de los puntos que relacionan el rendimiento relativo VS. el análisis de suelos podría dividirse esen

TABLA 6.3. Probabilidad de respuesta del trigo a la fertilización fosfórica según el contenido de fósforo en el suelo extraído por varios métodos. Tomado de Navas y otros (9).

Método de extracción	Límites de P extraído ppm	Número de ensayos	Aumentos en el rendimiento		Probabilidad de respuesta %
TRUOG	20	36	30	6	83
	20-40	22	6	16	27
	40	17	1	16	6
BRAY II	20	34	27	7	80
	20-40	18	10	8	55
	40	22	1	21	4
BRAY I	10	35	27	8	77
	10-20	15	7	8	47
	20	23	3	20	13
N.C.*	10	43	26	17	60
	10-20	17	9	8	53
	20	26	2	24	8

* Método utilizado en el Estado de Carolina del Norte (USA).

cialmente en dos poblaciones. La división de las dos poblaciones, o nivel crítico del análisis del suelo, puede lograrse gráficamente.

En la técnica de Cate y Nelson se utiliza un plástico transparente sobrepuesto, que tiene dibujadas sobre sí dos líneas perpendiculares, formando cuatro cuadrantes de aproximadamente el mismo tamaño relativo de los de la Figura 6.3.

El plástico se coloca sobre el gráfico de tal manera que el máximo número de puntos resulte en los cuadrantes positivos y el mínimo en los cuadrantes negativos. La línea vertical determina el nivel crítico del análisis del suelo separando las dos poblaciones de puntos, cada una de las cuales indica altas y bajas respuestas a la aplicación del fertilizante según el punto se encuentre en el cuadrante izquierdo inferior o derecho superior, respectivamente.

Debajo del nivel crítico se puede esperar una respuesta alta en el rendimiento del cultivo con adiciones adecuadas del nutrimento bajo estudio. Arriba del nivel crítico se espera una respuesta baja o ninguna respuesta. En la Figura 6.4 se ilustran algunos ejemplos con P en trigo y papa, obtenidos de ensayos realizados en Bolivia.

Es importante anotar aquí, que las correlaciones entre el análisis de suelos y el rendimiento relativo son útiles solamente para determinar el nivel crítico y agrupar los suelos por categorías de fertilidad. Tal correlación no establece cuánto fertilizante se debe aplicar para alcanzar un rendimiento dado. En

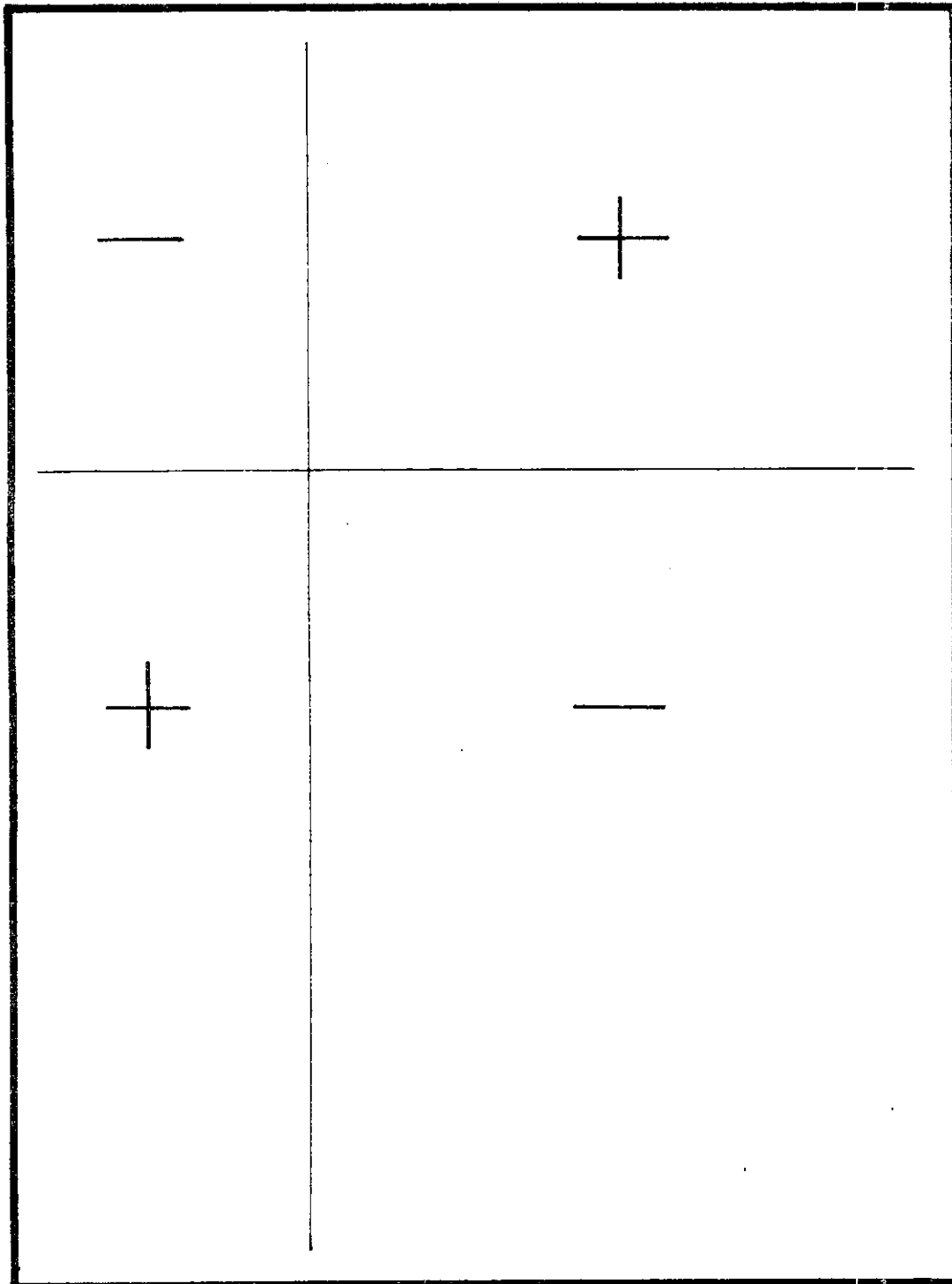


FIGURA 6.3. Formatos para obtener los valores críticos del análisis de suelos.
Tomada de Cate (4,5).

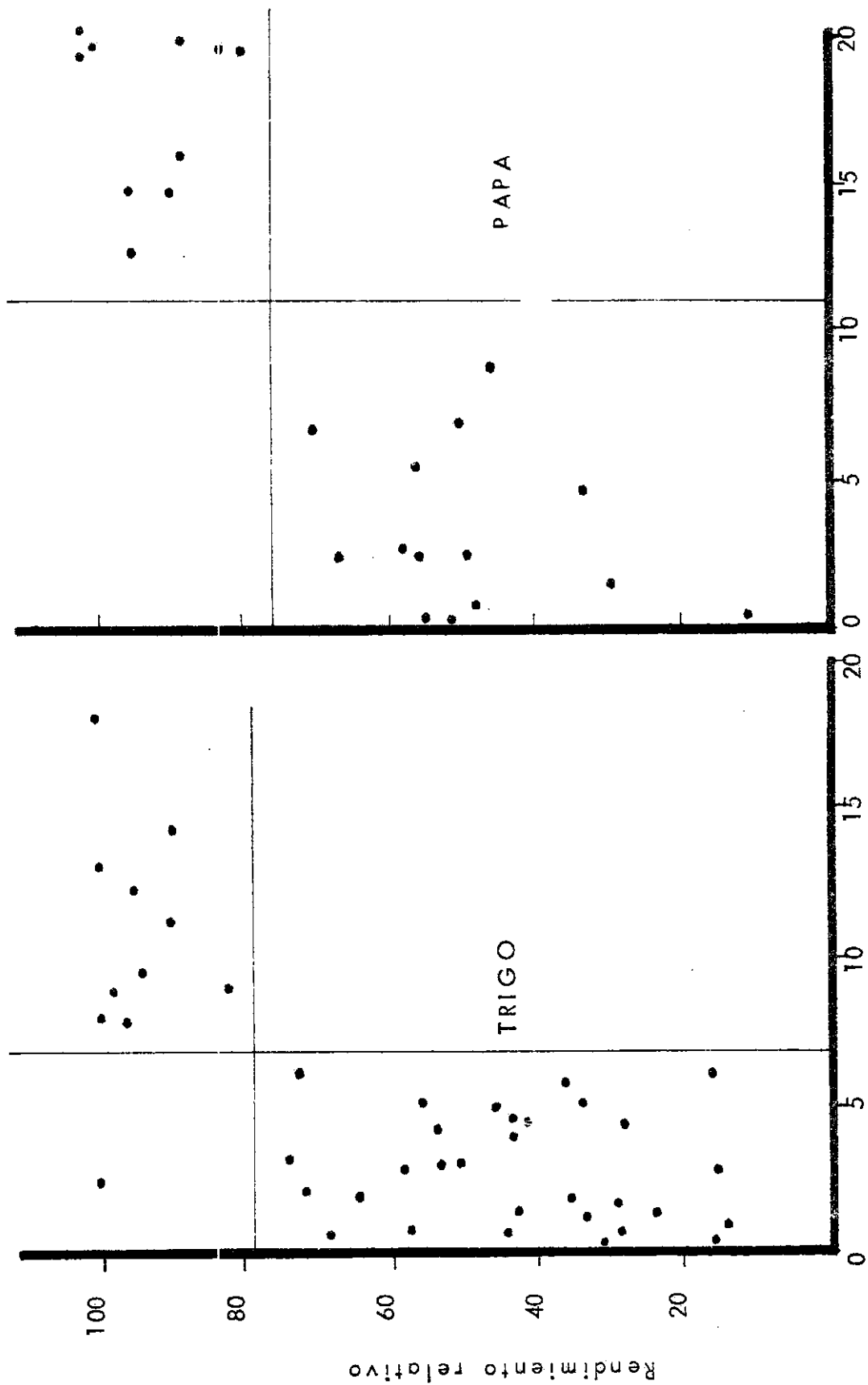


FIGURA 6.4. Fósforo del suelo extraído con NaHCO_3 0,5 M en relación al rendimiento relativo de trigo y papa. Tomada de Waugh (15).

otras palabras, el análisis de suelos no predice el rendimiento, sino más bien el rendimiento relativo.

Para establecer la relación entre respuesta en rendimiento y cantidad de fertilizante asociada con esa respuesta es necesario trabajar con otra clase de relación, de la cual se deriva el modelo de la respuesta al fertilizante. El rendimiento es una función de muchos factores que afectan la interacción entre el potencial genético de la planta y el medio ambiente en el cual crece. El suelo, la cosecha, el clima y el manejo representan cuatro categorías muy amplias de factores que afectan el rendimiento, cada una de las cuales puede subdividirse en numerosas sub-categorías (15).

6.5.4. Interpretación del Análisis.

Los problemas de interpretación del análisis de suelos han sido siempre complicados. Los resultados analíticos obtenidos en los análisis químicos de la muestra de suelo deben interpretarse en términos prácticos. Esto generalmente se hace a través de algún tipo de correlación, determinada previamente, entre los resultados del análisis y las respuestas de las cosechas en el campo. Por lo tanto, los estudios de correlación son necesarios para interpretar los valores de los análisis de suelos (11).

6.5.5. Recomendaciones de Fertilizantes.

El mayor problema y la mejor oportunidad del análisis de suelos yace en esta

área. Idealmente, las recomendaciones están basadas sobre los datos de calibración, justamente discutidos. Aún así, habrá necesidad de tomar una decisión subjetiva para cada recomendación individual, porque un agricultor cuyo manejo del cultivo solamente le permite obtener 1.000 kilogramos por hectárea de maíz no puede usar la misma cantidad de fertilizante que otro agricultor cuyo manejo del cultivo le permite obtener hasta 3.000 kilogramos por hectárea de maíz.

Para determinar el nivel máximo de fertilización, las consideraciones económicas son muy importantes, especialmente en cuanto al valor del incremento esperado de la cosecha en relación con el costo del fertilizante. Para hacer esas evaluaciones económicas es necesario estimar el posible rendimiento de la cosecha particular y su valor probable en términos absolutos. Esto es extremadamente difícil y lo único que puede hacerse es asumir promedios de rendimiento y de precios. Por lo tanto, las recomendaciones finales de fertilizantes dependen no solamente de un análisis de suelos muy seguro, sino también de interpretaciones basadas en investigación sólida y en juicios personales, igualmente sólidos (11).

En muchos casos las recomendaciones de fertilizantes son hechas por personas localizadas en un laboratorio central lejos del lugar en donde se pondrán en acción las recomendaciones. Este es un procedimiento cuestionable. Una mejor recomendación puede hacerse por alguien que viva en el área y esté familiarizado con las operaciones de los individuos para quienes se hacen. Este

podría ser un técnico del servicio de extensión o de asistencia técnica particular o un técnico de la industria de fertilizantes. Lo ideal sería que el agricultor mismo pudiera formular su propia serie de recomendaciones de fertilizantes, basado simplemente en los resultados de los análisis de suelos, el conocimiento de datos de calibración ya publicados y el conocimiento íntimo y amplio de sus propios cultivos, del suelo y de sus características (11).

Para hacer una recomendación sólida sobre la aplicación de fertilizantes deben conocerse seis criterios básicos a saber: (1) el estado actual de la fertilidad del suelo; (2) la cosecha que se va a sembrar; (3) la forma de siembra; (4) el porcentaje de eficiencia deseado en la cosecha; (5) el aumento en la tasa de aplicación del fertilizante y (6) el costo de los fertilizantes. De estos factores, el análisis de suelos indica simplemente el nivel de nutrimento en el suelo. El valor del análisis dependerá de la clase y de la calidad de investigación de campo sobre la cual están basadas las correlaciones. El propósito del análisis de suelo es indicar simplemente el punto de partida, o sea el nivel actual de los nutrimentos aprovechables en el suelo.

No todo el nutrimento que es aplicado en el fertilizante es absorbido por el cultivo. Una parte puede ser absorbida por las malezas, otra parte puede perderse debido a la lixiviación o volatización, y otra parte puede reaccionar con el suelo y volverse menos disponible. La localización, la época, la cantidad y el método de aplicación son factores muy importantes que se deben considerar en el uso eficiente de los fertilizantes.

6.6. RESUMEN

Este capítulo incluye una descripción general de las técnicas utilizadas para evaluar la fertilidad de los suelos a saber:

(1) síntomas visuales de deficiencias nutricionales en las plantas; (2) pruebas biológicas; (3) análisis químico de plantas y (4) análisis del suelo. En cada caso se discuten brevemente las ventajas y limitaciones de su aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALDRICH, S.R. Plant analysis: problems and opportunities. En: Soil testing and plant analysis. Part II: Plant analysis. Madison, Wisconsin, Soil. Sci. Soc. Amer., 1967. p. 1-10.
2. BRAY, R.H. Correlation of soil test with response to added fertilizer and fertilizer requirement. En: Diagnostic technique for soil and crops. Washington, D.C., American Potash Institute, 1948. p. 53-86.
3. CATE, R.B.; NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil correlation data into two classes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (EE. UU) v.35 no. 4, p. 658 - 659. 1971.
4. _____; NELSON, L.A. Un método rápido para correlación de análisis del suelo con ensayos de fertilizantes. International Soil Testing. Raleigh, North Carolina State University, 1965. (Boletín Técnico no. 1).
5. FITTS, J.W. Using soil test to predict a probable response from fertilizer application. Better Crops with Plant Food (EE.UU) v.39 no.3, p. 17-20. 1955.
6. GALIANO, F. El análisis foliar como técnica de diagnóstico de las necesidades nutricionales de las plantas. Suelos Ecuatoriales (Colombia) v.4, p. 317-343. 1972.
7. IFM CORPORATION. Micronutrient deficiency correction and crop nutrition maintenance. Springfield, Illinois, s.f. 43 p.
8. JENNY, H.; VLAMIS, J.; MARTIN, W.E. Greenhouse assay of fertility of California Soils. Hilgardia (EE. UU) v.20 no. 1, p. 1-18. 1950.
9. NAVAS, J.; MANZANO, H.; McCLUNG, A.C. Algunos aspectos del análisis de suelos. III. Calibración del análisis. Agric. Trop. (Colombia) v.22, p. 285-294. 1966.

10. TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. 2nd Ed. New York, MacMillan, 1966. 620 p.
11. _____. Problems and opportunities in soil testing. En: Soil testing and plant analysis. Part. I: Soil Testing. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Amer., 1967. p. 1-11.
12. TOBON, J.H. Cómo tomar una buena muestra de suelos. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1970. 12 p. (Boletín de Divulgación no. 27).
13. ULDRICH, A.; HILLS, F.J. Principles and practices of plant analysis. En: Soil testing plant analysis. Part II. Plant Analysis. Madison, Wisconsin, Soil. Sci. Soc. Amer., 1967. p. 11-24.
14. VIETS, F.G.; HANWAY, J.J. How to determine nutrient needs. En: Soil the yearbook of agriculture. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, 1957. p. 172-184.
15. WAUGH, D.L.; CATE, R.B.; NELSON, L.A. Discontinuous models for rapid correlation, interpretation and utilization of soil analysis and fertilizer response data. Raleigh, North Carolina State University, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, 1974. 77 p. (Technical Bulletin no. 7).
16. WIECSTROM, G.A. Use of tissue testing in field diagnosis. En: Soil testing and plant analysis. Part II: Plant Analysis. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Amer., 1967. p. 109-112.