

Análisis y comentario

EL DIAGNOSTICO DEL ESTADO DE NUTRICION DE LOS CULTIVOS¹

José F. Carvajal*

ABSTRACT

The diagnosis of the nutritional condition of crop plants. A brief critical review is presented on the available methodology for the diagnosis of the nutritional status of crop plants, i.e., soil chemical analysis, application of nutrients to soils and plants, visual diagnostic methods, plant analysis and biochemical diagnosis. Methods are illustrated with examples from the available literature, and with some individual parameters investigated locally, in support of the necessity of a more intensive use of these procedures.

The fact that such methodology appears applicable to a wide variety of circumstances is stated, since it takes into account soils and plants, independently; this implies in itself the use of direct, indirect or combined diagnostic techniques.

Particular emphasis is placed upon the need for technical personnel to be well aware of the usefulness and limitations of such methodology, in support of increased yields as well as an economical and integrated management of soil fertility, and its continuous improvement and preservation.

The possible use of computers, to help on the interpretation of laboratory data, is mentioned as a part of the setup required by the diagnostic laboratory of the future, as well as that of the present time.

La agricultura científica ha creado la necesidad de efectuar diagnósticos periódicos del estado de nutrición de los cultivos. La finalidad práctica de esta exigencia se origina en la conveniencia de contar con elementos de juicio para suplir racionalmente los nutrimentos que requieren los cultivos en cada ecosistema, pues se sabe que las exigencias son mayores en las variedades que producen más

eficientemente y el aumento de precio de los fertilizantes, que tiene origen en la crisis energética, debe ser contrarrestado con cosechas altas. La problemática del uso de fertilizantes ha sido tema de discusión en reuniones de alto nivel, en cuya ocasión se han presentado y discutido datos correspondientes a Costa Rica y a otros países del hemisferio (6).

El diagnóstico incluye una evaluación simultánea de los factores más importantes que convergen en la productividad, entre los que cabe destacar la variedad que se cultiva, las características fisicoquímicas del suelo y los elementos del clima. A continuación se presenta un análisis de los méto-

¹ Recibido para su publicación el 23 de junio de 1978.

* Fitofisiólogo, Director del Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

dos de diagnóstico que se conocen en el presente (16), con el propósito de promover el uso de los mismos.

Análisis del suelo

El diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos puede ser efectuado, e inclusive pronosticado con un grado de aproximación razonable, mediante el análisis del suelo. Resulta obvio que para que esta metodología sea efectiva, debe existir investigación básica, preferiblemente en relación con la especie con la cual se trabaja. No obstante, existen criterios cuya aplicabilidad se podría hacer extensiva a la mayoría de los casos. Así, si la reacción del suelo señala un pH dentro del ámbito denominado de fuerte acidez ($\text{pH} = 4,5 - 5,0$), o extremadamente ácido ($\text{pH} = < 4,5$), el técnico concluye que el suelo ha perdido una buena parte de los cationes nutrientes mayoritarios; que la concentración de aluminio disponible puede llegar a límites que eventualmente perjudican con el crecimiento de algunas especies y que se pueden encargar problemas de fijación de fósforo por captura química; que está siendo afectada la actividad microbiana, responsable del reciclaje natural de los elementos esenciales. Además del índice de acidez, otros parámetros, también importantes, saltan a la vista del nutricionista al interpretar un análisis de suelo. Por ejemplo, si la sumatoria de los cationes calcio, magnesio y potasio resulta ser inferior a 5 meq/100 g de suelo, o si las relaciones $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$, $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$, $\frac{\text{Ca}}{\text{K}}$, muestran desequilibrios (7, 14).^K En el primer caso, el criterio del técnico, debe favorecer, en términos generales, la recomendación de un programa de fertilización integral, vale decir, fundamentado en la adición equilibrada y por un período prolongado, de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, además de los elementos menores que se manifiesten en concentración deficiente, de acuerdo a la exigencia del cultivo. Como sería de esperar, los suelos de bajo contenido total de cationes nutrientes exhiben alta acidez. Ahora bien, si se trata de desequilibrios en las relaciones mencionadas, el criterio se parcializa hacia la recomendación de aquellos elementos cuya absorción está siendo afectada por la disponibilidad en exceso de elementos antagónicos. Al respecto algunos investigadores contemporáneos han seguido los índices que se resumen en el Cuadro 1.

La filosofía implícita en el análisis de suelo como guía indirecta de la nutrición de los cultivos corresponde en la práctica a la investigación de la calidad y cantidad de los alimentos de origen mineral a disposición de las plantas (nutrimentos).

Las relaciones entre los metales alcalino-alcalinotérricos que se transcriben en el Cuadro 1 fueron investigadas en café, en experimentos a largo plazo en condiciones de campo. Estudios en el mismo sentido fueron hechos posteriormente en caña de azúcar (1, 30). Las relaciones entre los referidos elementos han sido objeto de consideración, a la vez que enfatizadas por otros autores, habida cuenta de que la disponibilidad del potasio depende de un antagonismo fisiológico con el calcio y el magnesio (26). La importancia del equilibrio del medio nutricio en la alimentación de las plantas ha sido idealizado por Homès (17), quien ha elaborado un método experimental que permite determinar la composición de un fertilizante compuesto que incluye a los elementos mayores, en la proporción en que deberían estar en un fertilizante óptimo. La técnica se conoce bajo el nombre de "método de las variantes sistemáticas". Se ha enfatizado que un desarrollo adecuado de las plantas conduce a la obtención de cosechas altas y de la mejor calidad, lo que es posible solamente si el suministro de nutrimentos tiene lugar en la combinación que garantiza el mejor equilibrio (8).

Al referirse al análisis de suelo como medio de diagnóstico indirecto del estado de nutrición de los cultivos, cabe mencionar también el reconocimiento que se ha hecho de niveles críticos en el suelo mismo. En este caso el nivel crítico se refiere a una concentración de un elemento dado, representativa de un umbral bajo el cual la respuesta de cultivos específicos es evidente. Índices de esta clase han sido postulados para caña de azúcar, algodón, café, etc., para citar ejemplos de cultivos comunes en el trópico. Un nivel crítico de 0,20 meq/100 g de suelo de potasio ha sido encontrado en café (7, 18) y caña de azúcar (2) y de 0,30 meq/100 g de suelo para algodón (11). Contenidos de $> 0,40$ meq de K se han asociado con excelentes cosechas de café (13,19). Respecto al fósforo, una concentración en el suelo de 30 ppm ha sido considerada como un nivel de suficiencia adecuada para el café y de 20 ppm para caña de azúcar (1, 10), según se obtiene luego de extraer el fósforo con solución de H_2SO_4

Cuadro 1. Parámetros útiles como guía de la interpretación de los análisis de suelos.

Parámetro*	Magnitud	Interpretación	Referencias
Σ (Ca+Mg+K)		Suelo de fertilidad baja	
	<5	Respuesta a calcio, magnesio, potasio y a algunos micronutrientes	García y Carvajal (14)
	5-10	Suelo de fertilidad media	
	>10	Suelo de fertilidad alta	
$\frac{Ca+Mg}{K}$	>44	Respuesta probable a potasio	Briceño y Carvajal, 1973 (7)
$K = 0,20 \text{ meq, y}$ $\frac{Ca+Mg}{K} =$	10	No se registra respuesta a potasio	Mehlich, 1968 (19)
100 K/Ca+Mg+K	<2,5	Insuficiencia de potasio	Briceño y Carvajal, 1973 (7)
Mg/K	<2,1	Respuesta probable a magnesio	Forestier, 1968 (13)
	>3,8	Exceso de magnesio	
Ca/Mg	>4	Insuficiencia de magnesio	Mehlich, 1968 (19)

* Con base en datos expresados en Meq/100 g de suelo seco.

0,08 N y 0,02 N, respectivamente. Asimismo, una concentración de calcio en el suelo por debajo de 1 meq ha sido sugerida como indicadora de respuesta probable a este elemento de caña de azúcar (5). La importancia de determinar el nivel crítico en el suelo lo ilustra con singular claridad el ejemplo siguiente: Estudios hechos en Perú, con papa, demostraron en un ensayo de ocho años de duración, que en suelos por debajo del nivel crítico de fósforo se obtiene una ganancia de relación 1:7 por dólar invertido en la forma de P_2O_5 , mientras que en los de contenido de fósforo por encima del ni-

vel crítico se puso en evidencia una pérdida de 9 centímetros por dólar (12).

El papel del análisis de suelo es separar a los suelos en grupos o categorías, para los que se puede predecir una curva de respuesta a la aplicación de fertilización (12) y se ha dicho que su empleo es especialmente importante cuando el grado de fertilidad es muy diverso (26). Este concepto cobra una importancia semejante como guía del manejo de la fertilidad en suelos sujetos a explotaciones agrícolas con cultivos agronómicamente perennes,

dado el desequilibrio que se induce por el efecto de monocultivo y de la fertilización periódica. Como herramienta de diagnóstico el método sirve para obtener conclusiones cuando el cultivo está en marcha, y como medio de pronóstico contribuye con elementos de juicio para el abonamiento del cultivo inmediato posterior. La periodicidad del análisis varía con los objetivos que se persiguen y con la clase de cultivo. En plantaciones agrónomicamente perennes, que por lo general son objeto de fertilización periódica cuya dosis anual se subdivide mediante abonamientos parciales, el volumen del suelo que explora el sistema radical está sujeto a cambios frecuentes de acidez y de equilibrio y concentración de nutrimentos con respecto a la serie original, situación que forma parte del efecto del monocultivo. Los suelos que se dedican al cultivo de especies agrícolas de ciclo corto, en cuyo caso por lo general el suelo está sujeto al paso periódico del arado y la rastra, las variaciones que experimenta el volumen del suelo que afectan las raíces cobra menos importancia.

De lo expuesto en los párrafos anteriores se deduce que el análisis de suelo no debe ser restringido al diagnóstico de factores únicos y aislados. La meta ha de ser el suministrar, por su intermedio, una relación de hechos completa sobre la fertilización. En este particular, quizá Holanda es el país que mejor ilustra la filosofía implícita en el método, en donde se ha señalado que la eficiencia de la fertilización puede ser incrementada apreciablemente mediante la adaptación de las dosis de los fertilizantes a la variación individual del estado de nutrición de los suelos.

Aplicación de nutrimentos

El método de la aplicación de nutrimentos se aplica en dos sentidos: al suelo, mediante la adición de elementos solos o en combinación, y al follaje mediante atomización o espolvoreo (16). Una variante consiste en la aplicación de inyecciones al tallo o de otros tratamientos de efecto similar, que se usan para identificar deficiencias cuando existen problemas de disponibilidad de nutrimentos en el suelo, que impiden una utilización rápida. La absorción foliar de sales nutrientes (o de quelatos) ocurre con rapidez y cuando se cuenta con un número de soluciones individuales de concentración adecuada, resulta fácil identificar, me-

dante esta técnica, los elementos que limitan el crecimiento o que su deficiencia produce clorosis. Los resultados que se obtienen por este método dan a menudo resultados espectaculares. Por otro lado, es de esperar respuesta a un nutrimento que en un momento dado se presenta en concentración deficiente, cuando el mismo se añade al suelo. El suministro, por ejemplo de nitrógeno, magnesio o boro, produce respuestas a muy corto plazo, hecho que es considerado por el nutricionista como criterio de diagnóstico específico. Este método de diagnóstico es de uso prioritario en un país en desarrollo y por lo general se combina con estudios de respuesta de dosis estratificadas en cada elemento en particular. La técnica del elemento faltante, a pesar de ser bien conocida, poco se ha usado en el medio local. Este método, que puede ser empleado tanto en cultivos en maceta como en el campo mismo, permite demostrar que deficiencias minerales múltiples deben ser consideradas como posibles en situaciones desconocidas (29). La técnica se basa en la identificación de los elementos cuya concentración en el suelo limita el crecimiento vegetal, en cuyo caso por lo general las plantas indicadoras rara vez llegan a manifestar síntomas de deficiencia visual, habida cuenta de que la producción de biomasa es lo que se toma como índice de evaluación. Bajo cualquier situación, siempre vale la pena desarrollar un programa de investigación en este sentido, muy especialmente si se orienta hacia la identificación de respuesta a micronutrimentos.

Diagnóstico visual

Cuando los elementos esenciales se encuentran en el suelo en concentraciones deficientes, las plantas muestran síntomas visuales, a manera de signos de "enfermedad fisiológica". Este hecho ha sido usado desde hace mucho tiempo como método de diagnóstico visual, desarrollado como técnica importante por T. Wallace (16). Si bien es cierto que el diagnóstico visual ofrece un cierto grado de seguridad ante los ojos del técnico, también es verdadero que en muchos casos los síntomas que exhiben las plantas no son específicos, o son vagos, o inclusive si son específicos las causas de su aparición pueden ser varias. El síntoma visual que se asocia con una deficiencia de boro o zinc en café, de molibdeno en cítricos, de calcio en tomate,

puede decirse que es inequívoco, por ser específico. Sin embargo, no ocurre así con un síntoma de deficiencia de hierro, para citar un ejemplo, en cuyo caso, las causas pueden ser diversas; v.gr., baja disponibilidad de hierro, exceso de manganeso, pH del lado alcalino, etc. Otro ejemplo sería el manganeso, pues exceso y deficiencia producen síntomas similares en algunas especies. Además, cabe acotar en el sentido de que con frecuencia el modelo de cada sintomatología varía según la especie y que inclusive los efectos del ambiente también se proyectan en el síntoma. Las plantas bajo sombra, por ejemplo, por lo general no manifiestan una deficiencia de zinc, mientras que las que crecen bajo la influencia de una intensidad lumínica alta, si la exhiben. Las plantas cuyo síntoma de deficiencia visual para un nutrimento dado, se considera infalible, se llaman plantas indicadoras. Cabe añadir, que síntomas visuales de deficiencia no debe esperarse que se manifiesten en plantaciones comerciales en donde la fertilización ha sido hecha y programada con base en la puesta en práctica de otros métodos de diagnóstico que permitan conocer o pronosticar situaciones de deficiencia antes de que los individuos presenten a la vista desórdenes nutricionales notables.

Análisis foliar

Bajo el título de análisis foliar se incluyen todos aquellos métodos de diagnóstico directo que hacen uso del análisis químico de partes representativas de las plantas. El cometido se logra mediante la selección de muestras que incluyen la planta entera o solamente órganos o partes específicas, v.gr., hojas, pecíolos, etc. Se estima que este método debe proveer una indicación confiable respecto al estado nutricional de una planta, pues se aplica al individuo mismo. El esquema del análisis de una planta exige de investigación básica, a cumplirse en cada especie (9), v.gr., la selección de la parte de la planta representativa del estado de nutrición de cada elemento esencial o grupos de elementos en el momento en que se toma la muestra; un entendimiento de la naturaleza química del nutrimento en la planta y de las interacciones que ocurren; los requerimientos nutricionales de la planta a diferentes estados de crecimiento y la frecuencia de la toma de muestras necesaria que refleja los cambios estacionales del contenido del nutrimento. Una vez conocido el resultado de esta investigación básica

el nutricionista está en capacidad, no solamente de poder efectuar un diagnóstico preciso dentro de un ámbito amplio de condiciones ecológicas, sino inclusive de usar este método de diagnóstico como guía de la fertilización racional y económica del cultivo investigado. La correlación que existe entre el contenido de un elemento dado en la planta y la cosecha, puede ser lineal, en cuyo caso la concentración se manifiesta creciente, dentro de límites muy amplios. La aplicación de este método como herramienta útil para el diagnóstico de la nutrición de las plantas como guía para la recomendación de fertilizantes, en la forma como se usa en el presente, se basa en el concepto del nivel crítico definido por Ulrich (25), esto es, "aquel ámbito estrecho de concentración bajo el cual la velocidad del crecimiento o la cosecha, empieza a disminuir en comparación con plantas con niveles de nutrimentos más altos". El uso de este método evita en su mayor parte las limitaciones y desventajas que presenta el análisis de suelo como medio de diagnóstico. El concepto en el cual se basa el análisis foliar invoca la existencia de una relación entre el contenido de nutrimentos en una parte representativa de una planta dada y su crecimiento. Por comparación sistemática del contenido de nutrimentos en los individuos, con crecimiento o cosecha, se puede determinar el nivel crítico para cada nutrimento y para cada cultivo. La validez del uso de la composición de la planta como índice de diagnóstico tiene asidero en la estimación verdadera de que para cada dato de concentración del elemento en estudio corresponde una respuesta potencial única en cosecha a la aplicación de cada nutrimento, en ese momento o subsecuentemente (15). Si la misma concentración se asocia con más de una respuesta potencial de la cosecha a la aplicación de fertilizante, es por sí mismo evidente que el análisis de la planta no puede proveer un medio para distinguir entre estas diversas posibilidades. Que esto ocurre, ciertamente, cuando menos dentro de cierto ámbito, ha sido sugerido en varias oportunidades.

Se ha dicho que si el suministro de un nutrimento se reduce progresivamente, su porcentaje en la planta disminuye solamente hasta cierto punto y luego permanece constante, aun cuando la cosecha continúe disminuyendo. Bajo tales condiciones sería imposible distinguir por medio del análisis de la planta, entre los diferentes niveles de deficiencia que caen dentro de esta zona mínima. De igual manera, si se alcanza un contenido de nutrimentos

máximo en respuesta a un suministro insuficiente para producir una cosecha máxima, ello reduciría el valor del análisis foliar para fines de diagnóstico. Se ha apuntado el hecho de que algunas plantas pueden continuar acumulando un nutrimento a un nivel mucho más alto que aquel que da el efecto máximo favorable en la cosecha, lo que se ha dado en llamar "consumo de lujo". La existencia de tal peculiaridad no interfiere o invalida el método del diagnóstico foliar. Ciertamente que ello indica que no se cumple la relación lineal entre concentración y cosecha, en todo el ámbito, pero si se invoca el nivel crítico para el elemento en cuestión, tal situación es inocua. El análisis de la planta se correlaciona con el suministro de nutrimentos disponibles y con la cosecha mediante la "Fórmula de Resistencia" de Maskell, citada por Hewitt y Smith (16). La fórmula es la siguiente:

$$I = \frac{KA}{Y A1+Ao} + \frac{KB}{B1+Bo} + K$$

Donde,

Y = cosecha

KA y KB = Constantes específicas para nutrimentos A y B,
V.gr., nitrógeno y fósforo, suministrados como niveles A1 y B1. Cuando no se aplican nutrimentos Ao y Bo son las cantidades presentes, presumiblemente incluyendo las reservas disponibles para la planta.

El análisis de plantas severamente afectadas por deficiencias, v.gr., cobre o manganeso, puede resultar contradictorio en ciertos momentos, pues puede indicar concentraciones más altas del elemento en cuestión en comparación con la que se encuentra en plantas menos deficientes. En casos como este, cuando el logaritmo del contenido total de un elemento en la muestra de planta se relaciona gráficamente con el logaritmo de la concentración disponible o suministro del elemento, la relación se convierte en lineal (16).

Se ha dicho que las plantas no pueden crecer apropiadamente si tan solo un nutrimento se manifiesta en concentración deficiente en el suelo o si alguno se encuentra sobredosificado (8). Como secuela, ocurren cambios metabólicos en las plantas, los cuales a menudo pueden ser detectados

solamente mediante el empleo de métodos analíticos, toda vez que el modelo de distribución y asimilación de los iones nutrientes cambia dentro de la planta, y ello se manifiesta inclusive mediante alteraciones citológicas visibles al microscopio electrónico.

Diagnóstico bioquímico

Ciertas enzimas son particularmente susceptibles a la presencia de metales en cantidades adecuadas o deficientes, de los cuales depende su síntesis o actividad (16). Dentro de esta categoría se incluye a un grupo de enzimas específicas: reductasa del nitrato, peroxidasa, anhidrasa carbónica y la oxidasa del ácido ascórbico, cuyos metales activadores son molibdeno, hierro, zinc y cobre, respectivamente. En el caso de la reductasa del nitrato la ausencia de nitrato o deficiencia de nitrógeno causan igualmente una actividad baja de la enzima y la infiltración del metal activador (Mo) bien puede no tener efecto. Si el estado de nutrición por molibdeno es normal la presencia de nitrato inducirá la enzima. Correlaciones entre producción y respuesta a molibdeno, en términos de aRN, han sido obtenidos en grapefruit. La magnitud de la diferencia entre la actividad enzimática natural y la que exhiben los tejidos luego de infiltrar en el laboratorio o de aplicar en el campo mediante atomización al metal activador, se toma como criterio de referencia para definir estados de nutrición adecuados o deficientes. Dependiendo de la especie, la infiltración en el laboratorio puede no ser el tratamiento indicado para inducir actividad de la enzima en cuestión.

El método de diagnóstico bioquímico ha sido ampliado recientemente con la posibilidad de utilizar el contenido de agmatina y de putrescina (una diamina) como criterio de diagnóstico asociado a la deficiencia de potasio. El referido compuesto se acumula hasta cincuenta veces sobre la cantidad normal en plantas deficientes (21, 24). La biosíntesis de putrescina tiene origen en la arginina y la agmatina es uno de los compuestos intermedios. Otro ejemplo en este mismo sentido lo ilustra la deficiencia de cobre, causante de una disminución drástica del contenido de plastocianina (22). La extracción de esta proteína puede servir como criterio independiente o inclusive como indicador inicial de una deficiencia de cobre. El método de

diagnóstico bioquímico que involucra a la nitrato reductasa ha sido aplicado con éxito en varias especies agrícolas (3, 4, 23, 27), e inclusive la determinación de la actividad de la enzima puede ser efectuada en el campo mismo, mediante el método sugerido por Villalobos y Carvajal (28). Esta técnica de diagnóstico, aun cuando se aplica al propio individuo al igual que el análisis foliar, difiere sustancialmente de este, pues no contempla la existencia de nivel crítico alguno, habida cuenta de que la capacidad de síntesis de las enzimas responsables de pasos metabólicos específicos, depende de las condiciones fisicoquímicas que prevalecen en el individuo al momento de efectuar el diagnóstico y a la influencia de los factores ambientales (v.gr., intensidad lumínica, grado de hidratación del protoplasma, etc.)

AMPLIACION DE LOS METODOS DE DIAGNOSTICO

La metodología para el diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos, se concluye que es de un espectro muy amplio, habida cuenta de que contempla independientemente al suelo y a la planta, así como diferentes enfoques en cada caso. El nutricionista contemporáneo cuenta con herramientas de gran valor para orientar su diagnóstico y, cuando la investigación básica sobre una especie dada es incompleta, puede en un plazo relativamente corto investigar los parámetros faltantes, para mejor proveer.

La aplicación de las técnicas de diagnóstico que hacen uso conjunto del análisis del suelo y de la planta ha tenido mucho éxito cuando se usan en cultivos como la caña de azúcar o el café, lo que ha culminado con el diseño de métodos de diagnóstico que en la práctica se usan como guía de la fertilización científica de estos cultivos (6, 7). Técnicas semejantes se emplean en el presente, en el algodonero y en remolacha azucarera,

El diagnóstico del estado de nutrición de las plantas debe formar parte del lenguaje cotidiano que deben emplear los investigadores encargados de estudiar la respuesta a los fertilizantes en condiciones de campo. Estrictamente hablando no debe darse curso a ningún experimento de campo, dise-

ñado en este sentido, que no vaya ligado al empleo de la metodología de diagnóstico más aplicable al ensayo, dada la importancia que tiene en el presente el descubrimiento de los índices biológicos que se asocian con la respuesta a los fertilizantes. Si esta situación no se da, la investigación de campo con fertilizantes, perdurará, en ausencia de índices que permitan predecir hechos (respuestas) con fundamento en experimentos respaldados por análisis de laboratorio.

El uso de las técnicas que se describen bajo los acápites que se insertan debe formar parte, asimismo, de los programas de investigación de las firmas productoras y distribuidoras de fertilizantes. Se concluye que estas técnicas no deben ser privativas de los científicos involucrados en el adelanto de la ciencia y tecnología, *per se*, sino que, su uso, debe ser extendido a todos los ámbitos de la investigación, ya sea pura, aplicada, o de carácter utilitario.

Las limitaciones de los métodos de diagnóstico hasta ahora conocidos están implícitas en los objetivos que cada uno persigue. El nutricionista debe estar familiarizado, no solamente con la bondad de cada método, sino también con las limitaciones de orden científico y práctico, lo que le permite elegir el que mejor se adapte a las circunstancias.

La razón de ser de los laboratorios de diagnóstico

El uso por parte del técnico de los métodos de diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos es, en esencia, la razón de ser de los laboratorios de diagnóstico. Si se da el fenómeno de que desconoce la filosofía que respalda a esta importante herramienta y, por ende, su interpretación y aplicación práctica, los laboratorios de investigación especializados en este campo, tampoco tendrían razón de existir, por carecer de utilidad. Este hecho limitaría el avance de la agricultura científica y sería muy grave para el desarrollo del país. Ahora bien, la realidad parece ser que lo que existe es un cierto grado de indiferencia de parte de los técnicos en cuanto al empleo de esta metodología la cual podría tener cuando menos dos orígenes: a) los cursos que recibió, como parte de su formación profesional, no fueron suficientemente informativos sobre tales extremos; b) el profesional nunca conoció tal tecnología. Puede decirse que en

este particular el desarrollo de la agricultura científica del país vive en el presente una etapa de transición. Existen técnicos que trabajan en nutrición mineral adelantando proyectos de investigación básica en este campo, al tiempo que una inmensa mayoría no usa los resultados de esa investigación, por las razones mencionadas. Si infiere que es imperativo que la investigación básica con que se cuenta, sea difundida cuanto antes a todos los niveles y que el técnico se instruya sobre el particular. El profesional en ciencias agrícolas debe estar familiarizado también con los factores que influyan en la nutrición de las plantas, pues son de índole diversa y deben ser tomados en cuenta para la interpretación correcta de los datos que se obtienen en el laboratorio (10).

El diagnóstico nutricional como guía del manejo de la fertilización integral del suelo

No cabe duda, por lo expuesto antes, que la finalidad práctica que persigue el diagnóstico nutricional es el poder contar con elementos de juicio fidedignos para guiar científicamente la fertilización económica de los cultivos. Cuando el nutricionista diseña un programa de abonamiento para el presente, con base en dichos parámetros, debe contemplar la preservación y la elevación paulatina de la fertilidad integral del suelo. Esta última parte debe ser contemplada independientemente del cultivo del momento, habida cuenta de la importancia que tiene para las generaciones que nos suceden, el heredar un suelo fértil. Solamente mediante el empleo de las técnicas de diagnóstico conocidas se puede lograr elevar la fertilidad de los suelos, mediante el mantenimiento de equilibrios ideales en el complejo de cambio.

En algunos países desarrollados los análisis de laboratorio que se usan como guía de la fertilización de cultivos, los interpretan las computadoras. Esta fase no es difícil de lograr en un país como Costa Rica, donde se cuenta con especialistas que se podrían encargar de interpretar los análisis y de confeccionar los programas. En otras palabras, las computadoras deben formar parte del laboratorio de diagnóstico del futuro, y una vez que las muestras se procesan, el técnico o el agricultor recibe al final el análisis respectivo acompañado de la interpretación, de acuerdo con el cultivo de su interés. Los programas deben cambiar de tiempo en tiem-

po en concordancia con el progreso de la investigación simultánea de campo y laboratorio. Si infiere que tal complemento debe formar parte de la logística requerida para que la fertilización de los cultivos sea hecha en un futuro siguiendo las rutas que señala la tecnología más moderna. El estado de desarrollo de un país no se mide por el grado de opulencia en que viven sus habitantes, sino por la actitud de los miembros de la sociedad y por el grado en que se produce y usa la ciencia y la tecnología.

RESUMEN

Se hace un análisis sucinto de la metodología disponible al presente para efectuar el diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos, a saber: análisis del suelo, aplicación de nutrimentos al suelo o a la planta, diagnóstico visual, análisis foliar, diagnóstico bioquímico.

Los métodos se ilustran con ejemplos tomados de la literatura mundial y con parámetros de referencia investigados localmente, con el propósito de dar mayor soporte a la necesidad de hacer un uso más intensivo de ellos.

Se recalca el hecho de que la metodología es de un espectro muy amplio, y por lo tanto aplicable a una diversidad de condiciones, pues contempla, independiente e irrestrictamente, al suelo y a la planta, lo que apunta hacia el uso de métodos de diagnóstico directos, indirectos o combinados.

Se señala la importancia de que el técnico contemporáneo esté familiarizado con los métodos de diagnóstico existentes y sus limitaciones en respaldo de la producción de altas cosechas del manejo de la fertilidad económica e integral de los suelos y de la preservación y elevación paulatina de la misma.

Se menciona el posible uso de computadoras para la interpretación de los análisis de laboratorio, como parte de la logística que requiere el laboratorio de diagnóstico del presente y del futuro.

LITERATURA CITADA

1. ALPIZAR, R. Fertilidad de suelos cañeros costarricenses. Tesis. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, 1976. 120 p.
2. AYRES, A.S. and HAGIHARA, H.H. Soil analysis as indexes of nutrient availability. Hawaiian Planters' Record 55(1):113-227. 1955.
3. BAR-**AKIVA**, A., SAGIV, J. and LESHEM, L. Nitrate reductase activity as indicator for assessing the nitrogen requirement of grass crops. Journal of the Science of Food and Agriculture 21:405-407. 1970.
4. — and STERNBAUM, J. Possible use of the nitrate reductase activity of leaves, as a measure of the nitrogen requirement of citrus leaves. Plant and Cell Physiology 6:575-577. 1965.
5. BAVER, L.D. Plant and soil composition relationship as applied to cane fertilization. Hawaiian Planters' Record 56(1):1-153. 1960.
6. BORNEMISZA, E. Problems of fertilizer use in Latin America. *In* Semaine d'étude sur le theme l'emploi des fertilisants et leur effet sur l'accroissement des récoltes notamment par rapport a la qualite et l'economie. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. I^e Partie. pp. 189-207. 1972.
7. BRICEÑO, J.A. y CARVAJAL, J.F. El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos en el suelo, asociado con la respuesta del café al potasio. Turrialba 23(1):56-71. 1973.
8. BUSSLER, W. The importance of "balanced fertilizers" with twelve mineral nutrients for higher yields of adequate quality. *In* Semaine d'étude sur le theme l'emploi des fertilisants et leur effet sur l'accroissement des récoltes notamment par rapport a la qualite et a l'economie. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. I^e Parti. pp. 503-532. 1972.
9. CARVAJAL, J.F. Diagnostic techniques for assessing the nutritional status of plants. Crop plants in a tropical environment. Organization for Tropical Studies. Agriculture Course. San José, Costa Rica, 1968.
10. —. Café - cultivo y fertilización. Berna, Suiza, Instituto Internacional de la Potasa, 1972.
11. DE FREITAS, L.M.M., Mc CLUNG, A.C. and PIMENTEL GOMEZ, F. Determination des zones déficitaires en potassium pour la culture du coton. Fertilité no. 26, pp. 37, March-April 1966.
12. FITTS, J.W. Proper soil fertility evaluation as an important key to increased crop yields. *In* Semaine d'étude sur le theme l'emploi des fertilisants et leur effet sur l'accroissement des récoltes notamment par rapport a la qualite et a l'economie. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. I^e Partie. pp. 5-30. 1972.
13. FORESTIER, J. Potassium and the Robusta coffee tree. Fertilité 30:3-63. 1968.
14. GARCIA, A. y CARVAJAL, J.F. Respuesta al fósforo y al azufre en algunos suelos cañeros de Costa Rica. II Congreso Agronómico Nacional. Vol. I. Resúmenes pp. 59. 1976.
15. GOODALL, D.W. and GREFORY, F.G. Chemical composition of plants. Imperial Bureau of Horticulture and Plantation Crops. Technical Communications no. 17. 1947. 169 p.
16. HEWITT, E.J. and SMITH, T.A. Plant mineral nutrition. Unibooks English University Press, 1975.
17. HOMES, M.V. Effect of completely equilibrated fertilizer in the production of plants cultivated in large scale. *In* Semaine d'étude sur le theme l'emploi des fertilisants et leur effet sur l'accroissement des récoltes notamment par rapport a la qualite et a l'economie. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia. I^e Partie. pp. 469-493. 1972.
18. LOUE, D. Studies on the inorganic nutrition of the coffee tree in the Ivory Coast. Berna, Suiza, International Potash Institute, 1957. 68 p.
19. MEHLICH, A. Coffee nutrition and the possible use of compound fertilizers in Kenya. Kenya Coffee pp. 59-65. 1968.
20. MONTERO, M.A. y CARVAJAL, J.F. La actividad de la peroxidasa en *Phaseolus vulgaris* L. en función del suministro de hierro y manganeso. IV Simposio Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Resúmenes. Lima, Perú, 1971.