

Fascículos para la Capacitación en Tecnología de Producción de Frijol

Fascículo 3 **Uso del análisis químico para la determinación** **de la fertilidad de suelos en el cultivo del frijol** **(*Phaseolus vulgaris* L.)**



Ligia de Ramos
Telémaco Talavera
Manuel de Jesús López

SECCION DE MATERIALES DE CAPACITACION DEL CIAT

La sección de materiales de capacitación del CIAT es la unidad encargada de la preparación de todos aquellos medios impresos y audiovisuales que están dirigidos en forma especializada al apoyo de la capacitación tanto a nivel institucional como a nivel de aquella que se hace en los países de su mandato.

Un equipo de cinco profesionales de las ciencias agronómicas dirigidos por un educador, conforman la nómina de la sección. Estos han desarrollado una metodología eficaz para la formación de capacitadores y esquemas eficientes para el diseño y producción de materiales por el sistema de escritorio (Desk-top-publishing) que incorporan las metodologías de presentación de información y de dirección de la capacitación para adultos. Su expertismo se refiere al acompañamiento de científicos y técnicos para la traducción de los contenidos tecnológicos al lenguaje de la capacitación.

La sección ha producido durante los últimos tres años cerca de cincuenta títulos como el que se presenta en este fascículo para la capacitación de personal científico y técnico en tecnologías de producción de yuca, frijol, arroz y pasturas así como para la capacitación de extensionistas en la gestión de la asistencia técnica agropecuaria. Diez de ellos han sido traducidos al portugués y al francés para su empleo en otros países de América Latina y de África.

El CIAT tiene en la sección de materiales de capacitación un mecanismo de colaboración entre centros para la expansión del conocimiento científico a través de la producción de materiales que puedan ser empleados por todos aquellos que tienen a su cargo la generación y la transferencia de tecnologías agropecuarias.

Ramos, Ligia de ; Talavera, Telémaco ; López, Manuel de Jesús. Uso del análisis químico para la determinación de la fertilidad de los suelos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) / asesoría científica, Carlos A. Flor M., Gloria Ortiz ; coordinación general, Vicente Zapata S., Marceliano López G. ; producción, Lucy García S. ; diagramación, Flora Stella C. de Lozada -- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1995. 99 p. Es. -- (Fascículo 3 de la serie "Capacitación en Tecnología de Producción de Frijol") .

Publicado en cooperación con el Programa de Cooperación de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe, PROFRIJOL y el Proyecto Formación de Capacitadores, CIAT.

ISBN: 958-9439-82-4
958-9439-08-X
958-9439-09-8

Fascículo 3

Uso del Análisis Químico para la Determinación de la Fertilidad de Suelos en el Cultivo del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

CIAT
Centro Internacional
de Agricultura Tropical

PROFRIJOL
Programa Cooperativo Regional
de Frijol para Centroamérica, México
y el Caribe

1995

Autores:
Ligia de Ramos, M.Sc
Telémaco Talavera, M.Sc
Manuel de Jesús López, Ing. Agr

Asesores:
Carlos A. Flor M., M.Sc.
Gloria Ortiz, M.Sc.

Coordinación general:
Vicente Zapata S., Ed.D
Marceliano López G., M.Sc.

Producción:
Lucy García S., Ing. Agr.

Diagramación:
Juan Carlos Londoño L., Biól
Flora Stella C. de Lozada, Sec

Ramos, Ligia de ; Talavera, Telémaco ; López, Manuel de Jesús. Uso del análisis químico para la determinación de la fertilidad de los suelos para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) / asesoría científica, Carlos A. Flor M., Gloria Ortiz ; coordinación general, Vicente Zapata S., Marceliano López G. ; producción, Lucy García S. ; diagramación, Juan Carlos Londoño, Flora Stella C. de Lozada -- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1995. 99 p. Es. -- (Fascículo 3 de la serie "Capacitación en Tecnología de Producción de Frijol") .

Publicado en cooperación con el Programa de Cooperación de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe, PROFRIJOL y el Proyecto Formación de Capacitadores, CIAT.

ISBN: 958-9439-82-4
958-9439-08-X
958-9439-09-8

Contenido

	Página
Presentación del Fascículo	3
Agradecimientos	3
Flujograma para el Estudio de este Fascículo	4
Introducción al Fascículo	5
Secuencia 1. Conceptos Básicos sobre el Análisis Químico de Suelos	7
Fluograma	8
Suelos minerales y orgánicos	9
Coloides y nutrimentos del suelo	9
Criterios de esencialidad	11
Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol	12
Exportación de nutrimentos	12
Textura del suelo	12
Densidad aparente	13
Resumen de la Secuencia	16
Secuencia 2. Muestreo de Suelos	17
Flujograma	18
Representatividad de la muestra	19
Delimitación de las áreas para cada muestra	19
Número de submuestras	20
Profundidad de muestreo	21
Epocas de muestreo	21
Áreas en donde no se deben tomar las submuestras	21
Formas de tomar las muestras	21
Hoja de información	23
Envío de la muestra	24
Resumen de la Secuencia	24
Secuencia 3. Interpretación del Análisis Químico de Suelos	25
Flujograma	26
Fundamentos del análisis químico de suelos	26
Interpretación de los resultados del análisis químico de suelos	28
Resumen de la Secuencia	37
Secuencia 4. Formulación de Recomendaciones para el Uso de Fertilizantes y Enmiendas con Base en el Análisis Químico de Suelos y los Requerimientos Nutricionales del Cultivo de Frijol	39
Flujograma	40
Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol	41
Formas como el frijol absorbe los nutrimentos	41
Formas de expresar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes	42
Métodos de conversión de unidades	43

Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes	43
Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes en el cultivo de frijol. Ejemplo	47
Encalamiento de los suelos	51
Integración con otros factores de producción	52
Resumen de la Secuencia	53

Anexos

Anexo 1. Formulario para Solicitud de Análisis de Suelos	55
Anexo 2. Solicitud de un Análisis de Suelos	56
Anexo 3. Aproximación de Niveles Críticos para Análisis de Suelos en Frijol	58
Anexo 4. Informe de un Análisis de Suelos	59
Anexo 5. Exportación de Nutrientes en las Semillas, kg/ha por cada mil kilogramos de Semilla	60
Anexo 6. Bibliografía	61
Anexo 7. Copia de las Transparencias del Instructor	63

Presentación del Fascículo

La serie de siete fascículos sobre Tecnología de Producción de Frijol es parte del conjunto de materiales publicados por el CIAT en colaboración con la red de investigación en frijol (PROFRIJOL), apoyada por la Cooperación Suiza para el Desarrollo.

Los Fascículos han sido diseñados con dos propósitos: (a) servir de apoyo al aprendizaje de todos aquellos que acudan a cursos, talleres y seminarios sobre Tecnologías de Producción de Frijol, y (b) constituirse en material de difusión de conceptos y métodos para ser aplicados por aquellos que laboren en transferencia de tecnología agropecuaria en América Latina y el Caribe.

Los Fascículo son para los participantes en la capacitación lo que las Unidades de Aprendizaje son para los instructores. Esto quiere decir que las dos publicaciones se complementan, cada una cumpliendo las funciones para las cuales fue diseñada: las Unidades con todo el material de apoyo - ejercicios, transparencias, y anexos- para facilitar la labor del instructor; los Fascículos, más breves, con el compendio del material de lectura que requiere el participante para apropiarse del contenido de tecnología de producción de frijol.

Estos Fascículos deberán estar disponibles para ser distribuidos entre los participantes en los eventos de capacitación de manera que puedan seguir a los instructores en sus presentaciones, y estudiar los conceptos y procedimientos presentados durante la capacitación. Además, deberán servir como material de referencia en el ejercicio de la asistencia técnica a los productores.

Agradecimientos

Los autores de la presente serie de Fascículos sobre tecnologías de producción de frijol, con especial aplicación a los países de la Red de PROFRIJOL, expresan sus sinceros agradecimientos al doctor Silvio Hugo Orozco quien acompañó el proceso de formación de capacitadores que dió lugar a la producción de los módulos y fascículos de capacitación. A Freddy Saladin y al Comité Ejecutivo de PROFRIJOL, el cual aprobó la elaboración de los fascículos y cartillas que complementan el set de capacitación en frijol para América Latina y el Caribe. También deseamos agradecer al personal científico del Programa de Frijol del CIAT por la revisión que hizo de los materiales, así como a los profesionales de la Sección de Materiales de Capacitación por su excelente labor en la organización de la información de las Unidades en forma de Fascículos.

Nuestro agradecimiento especial a la Ing. Lucy García S. y a la Sra. Flora Stella C. de Lozada, por su paciencia y dedicación altamente profesionales en este esfuerzo de traducción de las Unidades al formato de Fascículos. Muchos extensionistas podrán ahora utilizar los conocimientos que antes estaban en las Unidades únicamente, en su diaria labor con los agricultores de tan vasta zona de producción de este alimento básico en la dieta de los pobladores centroamericanos y el Caribe.

Los Autores

Flujograma para el Estudio de este Fascículo

Objetivo terminal

Diagnosticar con base en la interpretación del análisis químico de los suelos y en función de los requerimientos nutricionales del frijol, problemas de fertilidad y hacer recomendaciones sobre la aplicación de fertilizantes y/o enmiendas para el cultivo

Secuencia 1

Conceptos Básicos sobre el Análisis Químico de Suelos

Objetivos

- ✓ Manejar adecuadamente los conceptos y la terminología utilizados en el análisis químico de suelos y la formulación de recomendaciones sobre el uso de fertilizantes y/o enmiendas
- ✓ Calcular el peso real de una hectárea de suelo con base en la densidad aparente

Secuencia 2

Muestreo de Suelos

Objetivo

- ✓ Aplicar técnicas de muestreo de suelos para obtener una muestra compuesta homogénea y representativa del suelo del lote o finca cuya evaluación de fertilidad interesa conocer

Secuencia 3

Interpretación del Análisis Químico de Suelos

Objetivo

- ✓ Evaluar mediante la interpretación de los resultados del análisis químico del suelo y de las tablas de niveles críticos, el estado de fertilidad de un suelo para el cultivo del frijol, diagnosticando desórdenes nutricionales como deficiencia, toxicidades o combinaciones de éstas

Secuencia 4

Formulación Recomendaciones sobre Uso de Fertilizantes y Enmiendas con Base en el Análisis Químico de Suelos y los Requerimientos Nutricionales del Frijol

Objetivos

- ✓ Aplicar el concepto de requerimiento nutricional
- ✓ Identificar los factores necesarios para elaborar una adecuada recomendación para el uso de fertilizantes y cal para el frijol.
- ✓ Reconocer las unidades en que se expresan los resultados del análisis químico.
- ✓ Efectuar conversiones entre diferentes sistemas de unidades usadas en los análisis químicos y las recomendaciones.
- ✓ Elaborar recomendaciones utilizando el análisis químico de suelos

Introducción al Fascículo

El empobrecimiento de los suelos, la obtención de variedades con mayor potencial de producción, la generación cada vez más creciente de información sobre técnicas de laboratorio, la calibración de los análisis, la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes y/o cal, son aspectos muy importantes que deben enfrentar y manejar bien los técnicos y agricultores en busca de un aumento en la productividad del cultivo del frijol.

El manejo inadecuado de los suelos y cualidades de éstos, como bajo nivel de fertilidad (escasez de nutrimentos), malas condiciones químicas y físicas, y condiciones climáticas adversas afectan la producción del frijol; por lo tanto, es necesario contar con la información y la tecnología adecuadas para minimizar el efecto de dichos factores. Uno de los métodos más importantes con los que se cuenta es el análisis de suelos; su adecuada interpretación permite hacer recomendaciones sobre el uso racional de los fertilizantes y/o enmiendas y, por lo tanto, obtener buenos rendimientos y buenos márgenes de utilidad.

La fertilidad de un suelo es la capacidad real que tiene éste para suministrar a las plantas los nutrimentos esenciales para su normal desarrollo, en la cantidad y forma adecuadas y en el momento oportuno.

Para evaluar la fertilidad de los suelos pueden utilizarse los siguientes métodos:

- Síntomas de deficiencias o toxicidades
- Análisis de suelos
- Análisis de tejidos
- Pruebas biológicas
- Combinaciones de las anteriores

El análisis químico de una muestra representativa del suelo permite conocer las cantidades aprovechables de los diferentes nutrimentos que éste contiene.

Como los requerimientos de cal y fertilizantes varían de acuerdo con las condiciones climáticas del suelo y del tipo de planta que se cultive, es preciso calibrar las metodologías utilizadas por medio de estudios de correlación entre la cantidad de nutrimento extraído por la planta y los rendimientos del cultivo, con lo que al final se determinan los niveles críticos de cada nutrimento.

Estos valores servirán como parámetro para interpretar los resultados del análisis químico del suelo y así determinar los suelos en los que se espera una respuesta positiva a la fertilización y de cuáles se espera poca o ninguna respuesta.

Esta interpretación es el factor básico para la formulación de una acertada recomendación sobre el uso de fertilizantes y/o enmiendas, teniendo como objetivo la obtención de rendimientos altos, rentables y sostenidos.

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

...the ... of the ...

Secuencia 1. Conceptos Básicos sobre el Análisis Químico de Suelos

	Página
Flujograma para la Secuencia 1	8
Información	8
Suelos minerales y orgánicos	9
Coloides y nutrimentos del suelo	9
• Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	9
• Porcentaje de saturación de bases	9
• Porcentaje de saturación de aluminio	11
Criterios de esencialidad	11
• Macronutrimentos	11
• Nutrimentos secundarios	11
• Micronutrimentos	12
Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol	12
Exportación de nutrimentos	12
Textura del suelo	12
Densidad aparente	13
Determinación de la densidad aparente (d.a.)	13
Resumen de la Secuencia 1	16

Flujograma para la Secuencia 1

Conceptos básicos sobre el análisis químico de suelos

Objetivos

- ✓ Manejar adecuadamente los conceptos y la terminología utilizados en el análisis químico de suelos y la formulación de recomendaciones sobre el uso de fertilizantes y/o enmiendas.
- ✓ Calcular el peso real de una hectárea de suelo con base en la densidad aparente

Contenido

- Suelos minerales y orgánicos
- Coloides y nutrimentos del suelo
- Criterios de esencialidad
- Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol
- Exportación de nutrimentos
- Textura del suelo
- Densidad aparente: importancia, determinación y uso.

Resumen

Información

El análisis químico del suelo es un proceso mediante el cual se puede determinar el estado nutricional de los suelos, para poder hacer un uso racional de los fertilizantes y/o enmiendas. Para lograr este objetivo es

necesario conocer y manejar adecuadamente ciertos conceptos y terminología básicos que ayudarán a comprender mejor algunos de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren constantemente en el suelo.

Suelos minerales y orgánicos

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre que se ha ido formando a través del tiempo a partir del material parental (roca) por la acción de diferentes factores, tales como el clima, los microorganismos, etc. También los suelos pueden tener origen aluvial. En unos casos el contenido mineral del material parental y la naturaleza e intensidad de los procesos de formación del suelo determinan la clase y cantidad de nutrientes que se liberan para las plantas; en otros casos, es la naturaleza y la cantidad de depósitos aluviales los que los determinan.

El suelo está formado de materiales orgánicos e inorgánicos. Los materiales orgánicos son residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, cuyo estado final lo constituye el humus. Los materiales inorgánicos son rocas y minerales en diversos estados de desintegración y descomposición desde la roca madre no alterada, hasta el producto final que lo constituyen las arenas, los limos y las arcillas.

De acuerdo con la proporción tanto de materiales inorgánicos o minerales como de materiales orgánicos que tengan los suelos, éstos se agrupan en suelos minerales y suelos orgánicos.

Los suelos minerales son aquellos cuyo contenido de materia orgánica es inferior al 10%.

Los suelos orgánicos resultan de la acumulación de materia orgánica. Esta acumulación se presenta en áreas donde la velocidad de descomposición de los materiales orgánicos es muy baja, con frecuencia por el contenido de humedad muy alto, o por la presencia de algunos materiales que inactivan el proceso de la descomposición y evitan la mineralización, provocando la acumulación de residuos orgánicos en diferentes estados de descomposición. En

general en estos suelos la materia orgánica es mayor del 10%.

Coloides y nutrientes del suelo

Los coloides del suelo están constituidos principalmente por las arcillas y el humus; poseen cargas eléctricas negativas, convirtiéndose así en la fracción activa del suelo y forman lo que se denomina complejo arcillo-húmico.

Los nutrientes se encuentran en forma iónica en el suelo y algunos de ellos poseen cargas positivas (cationes); éstos son atraídos y retenidos por los coloides con fuerza suficiente como para evitar la pérdida de éstos por lixiviación (lavado). Otros iones no son atraídos por los coloides, ya que poseen cargas negativas (aniones) por lo que quedan libres en la solución del suelo en donde pueden perderse por lavado o por fijación por otros constituyentes.

Los principales cationes y aniones que se encuentran en el suelo se presentan en el Cuadro 1.

Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)

En el suelo ocurren constantemente una serie de procesos físicos, químicos y biológicos; dentro de este conjunto de reacciones se encuentra lo que se denomina intercambio catiónico, que consiste en el intercambio constante de cationes entre la solución de suelo y los coloides del suelo. En la naturaleza el intercambio catiónico es considerado como el segundo proceso en importancia después de la fotosíntesis.

La capacidad de intercambiar cationes varía de acuerdo con los tipos y contenidos de arcilla y de humus, ya que las arcillas 2:1 como la Montmorillonita poseen mayor CIC que las arcillas 1:1 como la Caolinita; el humus posee una mayor CIC que las arcillas 2:1.

Cuadro 1. Cationes y aniones que se encuentran en el suelo y su carga eléctrica

Cationes		Aniones	
Aluminio	Al ³⁺	Boratos	BO ₄ ³⁻
Calcio	Ca ²⁺	Fosfatos	H ₂ PO ₄ ⁻ ; HPO ₄ ²⁻ ; PO ₄ ³⁻
Magnesio	Mg ²⁺	Sulfatos	SO ₄ ²⁻
Hierro	Fe ²⁺ ; Fe ³⁺	Carbonatos	CO ₃ ²⁻
Zinc	Zn ²⁺	Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻
Manganeso	Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺	Molibdatos	MoO ₄ ²⁻
Cobre	Cu ²⁺	Nitratos	NO ₃ ⁻
Potasio	K ⁺	Cloruros	Cl ⁻
Sodio	Na ⁺		
Hidrógeno	H ⁺		
Amonio	NH ₄ ⁺		

En este proceso de intercambio, los cationes de mayor carga eléctrica son retenidos con mayor fuerza por los coloides Ej. Al³⁺ > Ca²⁺ > K.

Los suelos con mayor capacidad de intercambio tienen además mayor capacidad de almacenamiento y de suministro de nutrimentos para los cultivos; los suelos de menor CIC son, por lo tanto, menos fértiles, ya que su capacidad de retención de nutrimentos es menor.

Porcentaje de saturación de bases

Los cationes se dividen en cationes ácidos (H⁺, Al³⁺) y cationes básicos (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺). Entonces, de un suelo con dominancia de cationes ácidos se dice que es un "suelo ácido", y de un suelo con dominancia de cationes básicos se dice que es un "suelo básico".

La proporción de bases (Ca, Mg, K, Na) sobre la capacidad total de intercambio catiónico (CIC) se conoce como "porcentaje de saturación de bases" y es un indicativo de la cantidad de bases retenidas por ese suelo.

El porcentaje de saturación de bases se calcula así:

$$\% \text{ Sat. Bases} = \frac{\sum \text{meq} (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{Na}^+)}{\sum \text{meq} (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{K}^+, \text{Na}^+, \text{Al}^{3+}, \text{H}^+)} \times 100$$

Es deseable que un suelo presente una CIC alta, asociada con un buen porcentaje de saturación de bases, ya que así se tendría una gran capacidad potencial de suministro y reserva de calcio, magnesio y potasio (Sánchez, 1981).

Los cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) retenidos por los coloides deben guardar cierta proporción, o estar balanceados, considerándose como ideal el suelo que presente la siguiente composición porcentual en la cubierta cambiante: 65% Ca, 10% Mg y 5% K (Raij, 1981).

Cualquier alteración de este balance da lugar a suelos de propiedades diferentes, lo que origina problemas en la absorción de estos nutrimentos por parte del cultivo.

Porcentaje de saturación de aluminio

Así como el suelo posee un determinado porcentaje de saturación de bases que ayuda a determinar la capacidad de suplir cationes básicos, existe lo que se denomina porcentaje de saturación de aluminio, que sirve de parámetro para estimar las cantidades de cal necesarias para neutralizar los efectos negativos en el cultivo de frijol que produce el exceso de aluminio en el suelo.

El cálculo de este porcentaje de saturación de aluminio se hace así:

$$\% \text{ saturación de Al}^{+++} = \frac{\text{meq Al Int.}}{\sum \text{meq}(\text{K}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}, \text{Al}^{+++}) \text{ Int.}} \times 100$$

En la práctica se considera que el porcentaje de saturación de aluminio es el mejor criterio para evaluar el efecto del aluminio en los rendimientos del cultivo de frijol.

Criterios de esencialidad

Se ha demostrado que la planta para su normal desarrollo requiere 16 nutrientes que son esenciales para completar su ciclo vegetativo y reproductivo.

Aunque las plantas pueden absorber en mayor o menor cantidad numerosos elementos químicos que se encuentran en el suelo, se consideran nutrientes esenciales aquellos que reúnen las tres condiciones siguientes:

- Su deficiencia imposibilita a la planta para cumplir con sus ciclos vegetativo y reproductivo.
- Su deficiencia no puede ser suplida por otro nutriente.
- Debe estar involucrado directamente en algún proceso o reacción indispensable para el metabolismo de la planta.

Estos nutrientes esenciales son obtenidos por la planta en tres fuentes que son aire, agua y suelo.

- Se obtienen del aire y del agua del suelo: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y algunas plantas como el frijol obtienen parte del nitrógeno (N).
- Se obtienen del suelo, de los fertilizantes y de los abonos: el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg), el azufre (S), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el boro (B), el molibdeno (Mo) y el cloro (Cl) (Rajj, 1981).

Los nutrientes esenciales se han dividido en macronutrientes, micronutrientes y nutrientes secundarios, no porque sean más importantes unos que otros, sino porque los primeros se necesitan en mayor cantidad; los micronutrientes se necesitan en cantidades muy pequeñas.

De acuerdo con la cantidad de nutrientes que el frijol extrae, éstos se dividen en tres categorías:

Macronutrientes

Son los requeridos en grandes cantidades; se llaman también elementos mayores. El concepto de macronutriente es estrictamente cuantitativo. El orden de extracción cuantitativo para los tres macronutrientes es:

- Nitrógeno
- Potasio
- Calcio

Nutrientes secundarios

Un grupo intermedio que corresponde a los elementos secundarios:

- Azufre
- Magnesio
- Fósforo

Micronutrientes

Son los requeridos en menor cantidad y se les llama también elementos menores:

- Boro
- Cobre
- Hierro
- Manganeso
- Zinc

Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol

Los requerimientos nutricionales son las cantidades de nutrientes esenciales que el frijol necesita para completar en forma normal sus ciclos vegetativo y reproductivo. Estas cantidades pueden provenir: del aire, del suelo, de los fertilizantes y/o de enmiendas.

Para el caso de las variedades arbustivas de climas medios y cálidos se tienen los siguientes requerimientos (Flor, C.A., 1985):

N	= 136 kg/ha	S	= 25 kg/ha
K	= 114 kg/ha	Mg	= 18 kg/ha
Ca	= 54 kg/ha	P	= 18 kg/ha

El requerimiento nutricional varía según el genotipo del frijol utilizado.

Exportación de nutrientes

Este concepto se refiere a la cantidad de nutrientes que el cultivo extrae, cantidad que luego es exportada del campo en forma de producto cosechado, por ejemplo:

- En los granos (semillas) cuando se hace cosecha mecánica.
- En las vainas (valvas y granos) cuando los agricultores en forma manual van cosechando los frutos que han alcanzado la madurez.
- En los tallos, las ramas, las vainas y parte

de la raíz, cuando el frijol es cosechado por pequeños productores mediante el arranque manual; en la mayoría de estos casos el proceso final de secamiento se efectúa muy cerca de la casa o dentro de ella.

La exportación es uno de los criterios de fertilización, ya que para mantener el nivel de fertilidad original de un suelo es necesario restituirle los nutrientes que han salido de él.

Textura del suelo

La textura es una de las propiedades físicas más importantes del suelo; se refiere a la proporción relativa en que se encuentran las arcillas, los limos y las arenas.

Dado que la proporción en que se encuentran las partículas en el suelo (textura) varía mucho, los suelos se agrupan según su textura en clases texturales, por esto se tienen suelos arenosos, limosos, arcillosos, o combinaciones de éstos (Figura 1).

Así un suelo arcilloso es aquel cuyo contenido de arcillas es al menos de 40%. A este suelo se le llama también suelo pesado.

Suelo arenoso es aquel que contiene 70% o más de arenas; también se le llama suelo ligero o liviano.

Suelo franco es el suelo que presenta cantidades relativamente proporcionales de los tres tipos de partículas del suelo.

Conocer la textura de un suelo es muy importante ya que está muy relacionada con las propiedades y características del suelo, tales como la densidad aparente, la facilidad para el laboreo, la capacidad de retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico. Los suelos arcillosos, por ejemplo, presentan mayor capacidad de retención de humedad, mayor CIC, y mayor dificultad para el laboreo que los suelos arenosos.

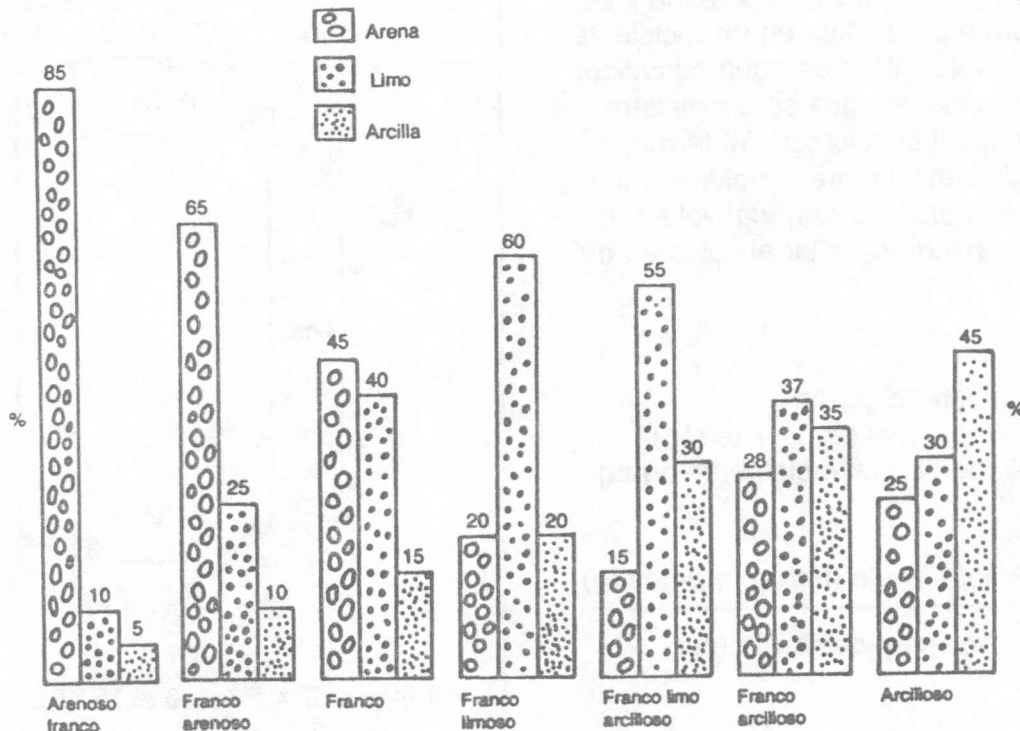


Figura 1. Representación gráfica de los análisis físicos de suelos minerales típicos. Tomado de: Brady, N.C. and Buckman, H.O., 1969

Los suelos francos son en general los mejores suelos para la agricultura, dado que no contienen cantidades extremas de ninguna de las partículas.

Densidad aparente

Para fines prácticos es necesario convertir las unidades de laboratorio en que vienen expresados los diferentes nutrientes a kg/ha o lb/mz. Para ello se debe tomar en consideración el peso real de una hectárea de suelo (a 20 cm de profundidad) el cual dependerá de la densidad aparente del mismo.

La densidad aparente (d.a.) es una propiedad que relaciona el peso seco del suelo con su volumen, incluyendo los espacios porosos. Se expresa en gramos por centímetro cúbico (cc). Por lo tanto la densidad aparente es igual a:

$$da = \frac{\text{Peso del suelo}}{\text{volumen}} = \text{g/cc}$$

Determinación de la densidad aparente (d.a.)

Para la determinación de la densidad se debe conocer el volumen total (sólidos + espacios porosos) de una porción de suelo sin disturbar y determinar el peso seco correspondiente a ese volumen de suelo.

Existen métodos rápidos y prácticos para estimar la d.a.; entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

Determinación con parafina de la d.a.

Consiste en tomar un terrón seco (agregado) del suelo y pesarlo, luego introducirlo en parafina líquida. Para conocer el volumen del

terron, después de haberlo introducido en la parafina líquida se deja secar la parafina y se introduce el terrón parafinado en un recipiente graduado con un volumen de agua conocido; al introducir el terrón, el agua se desplazará en un volumen igual al volumen del terrón, entonces por diferencia entre el volumen final en el recipiente (agua + terrón) y el volumen inicial (agua) se puede calcular el volumen del terrón.

$$V_t = V_f - V_i$$

V_t = volumen del terrón
 V_f = volumen final (agua + terrón)
 V_i = volumen inicial (solamente agua)

$$d_a \text{ (g/cc)} = \frac{\text{Peso del suelo (terron) gramos (g)}}{\text{volumen del terrón (cc)}}$$

Determinación de la d.a. haciendo uso de un recipiente o cilindro de volumen conocido

Para ello se toma una lata (de leche, de avena, de galleta, etc), si no se conoce su volumen se lo determina haciendo uso de la siguiente fórmula:

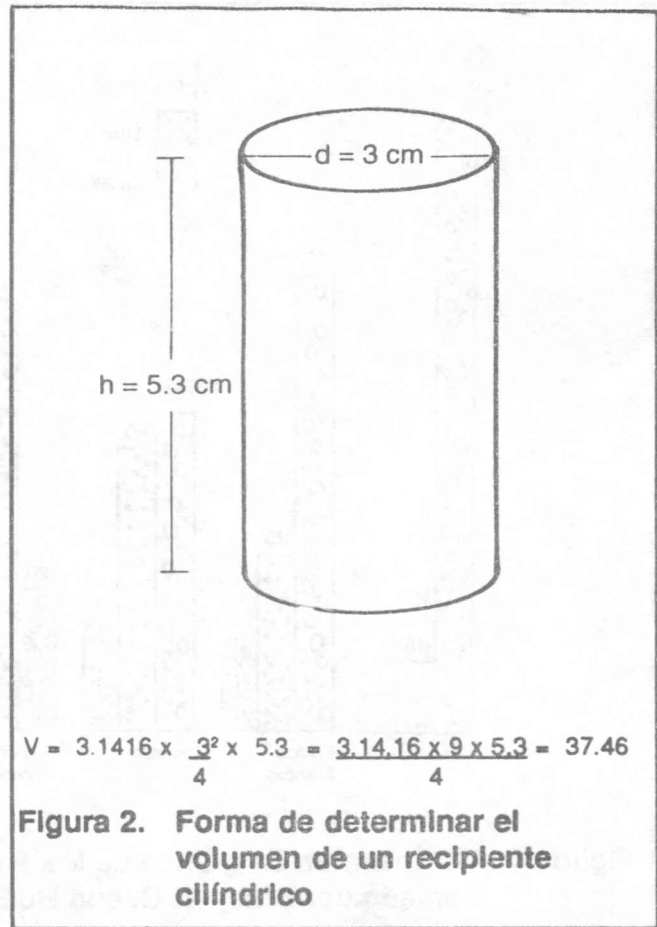
$$V = (\pi \cdot r^2)h, \text{ en donde: } r^2 = \frac{d^2}{4}, \text{ entonces:}$$

$$V = \left(\pi \rho \frac{d^2}{4} \right) h$$

- V = volumen de la lata en cc
- $\pi = 3.1416$
- d = diámetro de la lata en cm
- h = altura de la lata en cm

Un ejemplo se puede ver en la Figura 2.

La lata se introduce en el suelo tratando de que se produzca la menor disturbación posible y que el volumen de suelo extraído corresponda al volumen de la lata usada, se pesa el suelo extraído y se calcula la densidad aparente de la siguiente manera:



$$d.a. = \frac{\text{peso del suelo (g)}}{\text{volumen del suelo (cc)}} = \frac{\text{peso de la porción de suelo extraído}}{\text{volumen de la lata utilizada}}$$

También pueden usarse en lugar de las latas, probetas, volumedidas y barrenos con cilindros especiales.

Se debe tratar de hacer la determinación de la densidad aparente cuando el suelo esté seco, de lo contrario, antes de pesar el suelo se debe secar al aire sobre un papel, tabla, etc. evitando que se pierdan partículas de suelo porque esto reduce el peso de la muestra y altera el valor de la densidad aparente.

La densidad aparente varía cuando se altera la porosidad; por ejemplo, con las labores de preparación del suelo. También varía cuando se adicionan abonos orgánicos; por esta razón, la densidad aparente debe

determinarse cuando el suelo ya esté preparado.

Uso de la densidad aparente

Tradicionalmente se ha aceptado la hipótesis de que el peso de una hectárea de suelo, a la profundidad arable (0 - 20 cm) es de 2.000.000 kg para todos los suelos, basándose para ello en el hecho de que la densidad aparente promedio de los suelos minerales es de 1.0 g/cc. De acuerdo con la literatura, los valores de la densidad aparente pueden variar desde 0.3 a 2.0 g/cc. Por lo tanto, suponer un valor promedio de la densidad aparente en los cálculos del peso de la capa arable puede llevar a sobreestimar o a subestimar las verdaderas cantidades de un nutrimento presente en ella. Por ejemplo, suponer un peso de 2'000.000 kg para la hectárea arable (20 cm de profundidad) en un suelo Andisol resulta en un error grave, pues estos suelos volcánicos en razón de su alto contenido de arcillas alofánicas presentan densidades aparentes menores a la unidad, pudiendo llegar a ser tan bajas como 0.3 g/cc, lo que significa que ese tipo de suelos presentan pesos de hectárea arable siempre menores de 1'500.000 kg. Por lo tanto, cuando con esos suelos se supone un peso de 2'000.000 de kg en lugar del peso real, la disponibilidad de los nutrimentos se está sobreestimando en un 10% o más. Por ello, debe determinarse la densidad aparente del suelo y con base en ella calcular el peso real de la hectárea.

Es posible conocer mediante el uso del Cuadro 2 el peso real de 1 ha muestreada a la profundidad de 0-20 cm, en función de la densidad aparente, y también es posible comparar los pesos reales con el valor tradicional de 2'000.000 de kg y, por lo tanto, observar las sobreestimaciones o subestimaciones que se habían venido haciendo al aceptar la hipótesis de los 2'000.000 de kilogramos.

Cuadro 2. Peso en kg de 1 ha de suelo, a una profundidad de 0-20 cm y con diferentes densidades aparentes.

Densidad aparente (g/cc)	Peso (kg/ha)
0.5	1,000.000
0.6	1,200.000
0.7	1,400.000
0.8	1,600.000
0.9	1,800.000
1.0	2,000.000
1.1	2,200.000
1.2	2,400.000
1.3	2,600.000
1.4	2,800.000
1.5	3,000.000
1.6	3,200.000
1.7	3,400.000
1.8	3,600.000
1.9	3,800.000
2.0	4,000.000

En el Cuadro 3 se indican los pesos correspondientes a una hectárea de diferentes clases de suelos a 20 cm de profundidad.

Cuadro 3. Peso en kg de una hectárea de diferentes clases de suelo a una profundidad de 0 - 20 cm

Densidad aparente g/cc	Tipo de suelo	Peso suelo kg/ha
1.6	Arenoso	3'200.000
1.4	Arcilloso	2'900.000
1.3	Limoso	2'600.000
0.3	Orgánico	600.000

Resumen de la Secuencia

Para hacer un uso adecuado del análisis químico de suelos es necesario conocer y manejar con precisión una serie de términos y conceptos relacionados con el análisis y con las recomendaciones sobre el uso de fertilizantes y/o enmiendas.

Uno de los conceptos es el de densidad aparente, propiedad física muy importante para conocer el peso real de un suelo determinado. Esta propiedad puede ser determinada de varias formas, mediante el:

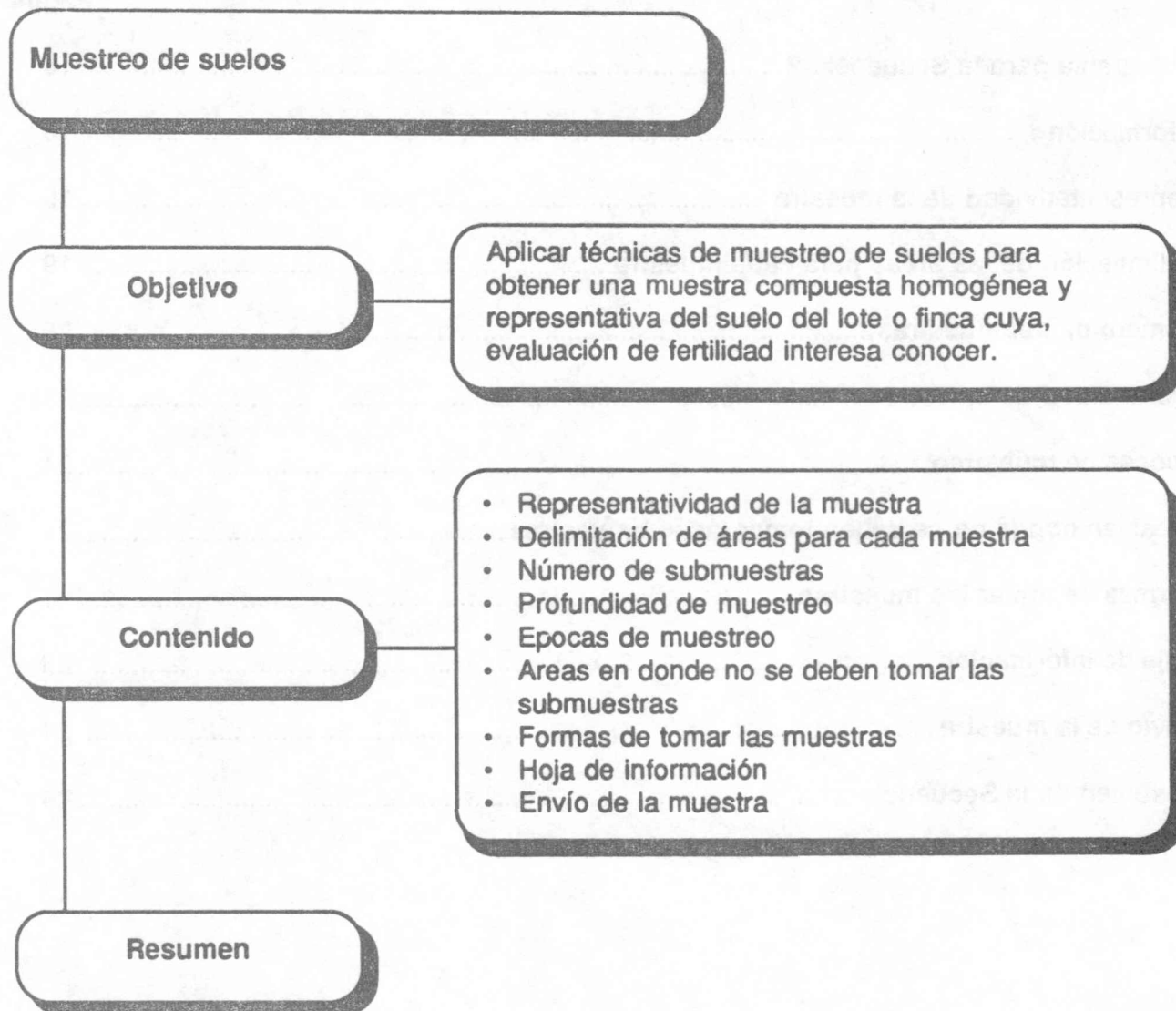
- ✓ Uso de barrenos con cilindros especiales
- ✓ Uso de las volumedidas
- ✓ Método de la parafina
- ✓ Uso de tubos o latas de volumen conocido
- ✓ Uso de probetas

El conocimiento de la densidad aparente al momento de manejar los resultados del análisis químico del suelo ayuda a hacer cálculos reales sobre el uso de fertilizantes y a evitar así la subestimación o sobreestimación de las cantidades de fertilizantes o enmiendas para aplicar al suelo.

Secuencia 2. Muestreo de suelos

	Página
Flujograma para la Secuencia 2.....	18
Información	18
Representatividad de la muestra	19
Delimitación de las áreas para cada muestra	19
Número de submuestras	20
Profundidad de muestreo	21
Epocas de muestreo	21
Áreas en donde no se deben tomar las submuestras	21
Formas de tomar las muestras	21
Hoja de información	23
Envío de la muestra	24
Resumen de la Secuencia	24

Flujograma para la Secuencia 2



Información

Una muestra de suelo es una parte de un total que debe representar todas sus características y propiedades. Esto significa que si la muestra es mal tomada los resultados del análisis químico de suelos no serán confiables, independientemente de la exactitud con que éste haya sido realizado.

Por lo antes expuesto, de una muestra de suelo mal tomada se pueden derivar una

interpretación y una recomendación (de enmienda y/o fertilizantes) erróneas, lo cual trae como consecuencia: no dar solución a los problemas que tiene el suelo; creación o inducción de nuevos problemas; perjuicios para el cultivo; perjuicios económicos (ICA, 1980).

La razón por la cual en el muestreo de suelos se tiene la mayor fuente de error, es la magnitud de la extrapolación de los resultados analíticos. Ej: una submuestra

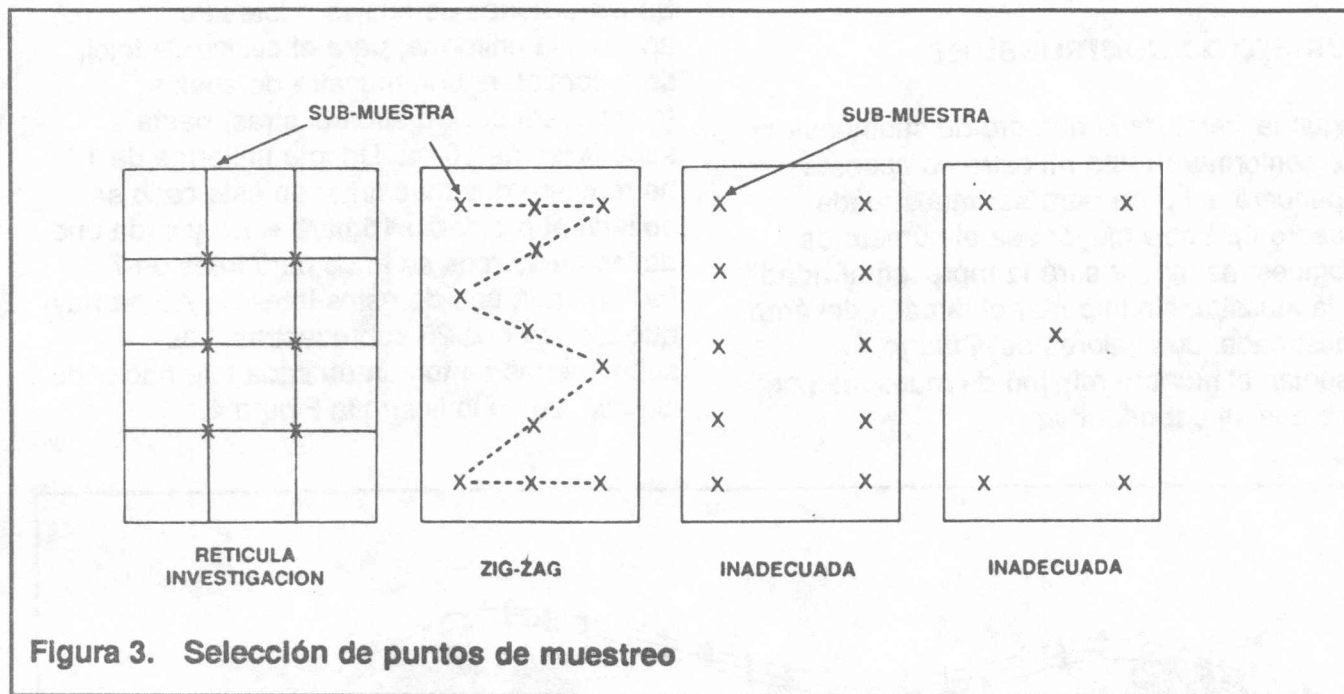
tomada de una muestra compuesta que pesa 500 g de un campo de 2.5 ha, y tomada a 20 cm de profundidad, para la determinación de fósforo, representa una mil millonésima parte del peso total de ese suelo.

Representatividad de la muestra

Para garantizar la representatividad de la muestra que se enviará al laboratorio, ésta

debe resultar de la mezcla de varias submuestras o muestras simples que hayan sido tomadas correctamente en diferentes puntos del lote o terreno.

En la Figura 3 se ilustra la forma en que se seleccionan los puntos de muestreo en un lote.



Después de mezclar cuidadosamente las submuestras, se obtiene de ellas una sola muestra de 500 g para ser enviada al laboratorio.

Delimitación de las áreas de muestreo

Según las diferentes condiciones del suelo y de manejo que existan en la finca, ésta se divide en áreas que presenten características bastante uniformes. Las características de variabilidad que se aprecian a simple vista también sirven de base para dividir la finca en estas áreas y luego muestrearlas por separado.

Algunas de las características que se pueden utilizar para seleccionar los lotes son:

- Areas de diferente topografía: plana, ondulada y pendiente.
- Areas de suelos con diferente color: negros, rojos, pardos.
- Areas de diferentes cultivos o vegetación: café, frijol, pastos, bosque, etc
- Areas de textura diferente; arenosa, arcillosa, orgánica, etc.
- Presencia o ausencia de parches salinos

- Presencia de deficiencias o toxicidades
- Areas de diferente fertilización: con cal, sin cal, con abono, sin abono.
- Areas con buen drenaje y mal drenaje.

En un croquis se deben localizar los lotes y áreas donde se tomarán las muestras; para que una vez se tengan los resultados poder ubicarlos con precisión.

Número de submuestras

Según la literatura el número de submuestras que conformarán una muestra compuesta dependerá del área para ser muestreada (Cuadro 4). Entre mayor sea el número de submuestras mayor será la representatividad de la muestra, sin importar el tamaño del área muestreada. Los valores del Cuadro 4 resentan el número mínimo de muestras por área que se deben tomar.

Cuadro 4. Número de submuestras simples por área de muestreo

Hectáreas	No. submuestras
< 3	15
3 - 5	20
5 - 7	25
7 - 10	30

En condiciones de suelos ó lotes de apariencia uniforme, para el cultivo de frijol, se recomienda una muestra de suelos (compuesta por 30 submuestras) hasta superficies de 10 ha. Un lote uniforme de 15 ha requiere dos muestras; en este caso se obtiene el promedio $15 \text{ ha}/2 = 7.5$ y cada uno de los muestreos se hace para lotes de 7.5 ha. En cada uno de estos lotes de 7.5 ha hay que tomar unas 25 submuestras. Las submuestras se toman en cada lote haciendo zig zag, como lo ilustra la Figura 4.

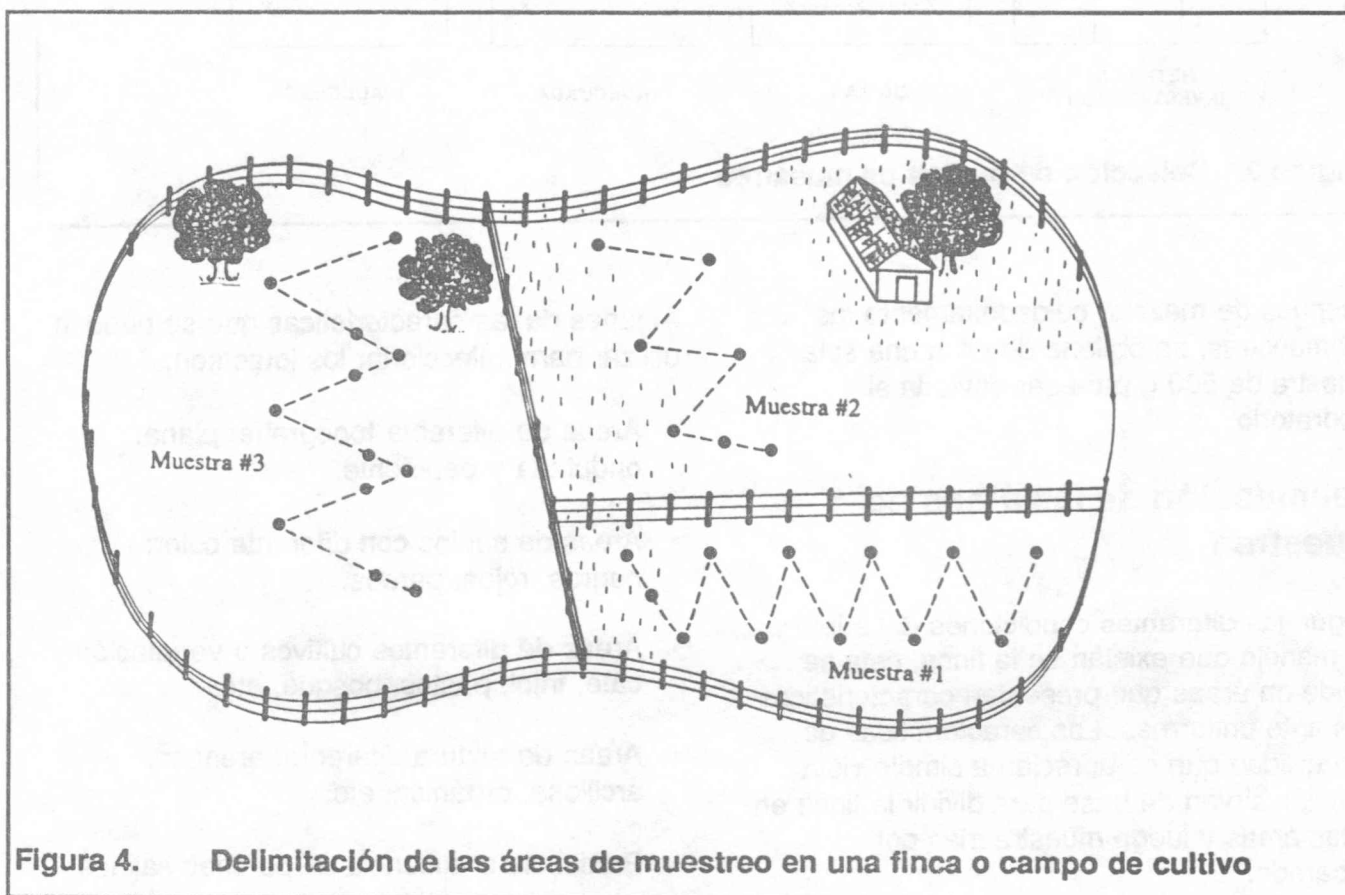


Figura 4. Delimitación de las áreas de muestreo en una finca o campo de cultivo

Profundidad de muestreo

Se recomienda que las muestras se tomen a una profundidad que esté en función de la mayor concentración del sistema radicular. En el caso de frijol alrededor del 80% del sistema radicular se encuentra en los primeros 20 cm del suelo. Por ésto la profundidad de muestreo debe ser de 0-20 cm para el frijol (Flor, 1985).

La toma de las muestras en suelo y subsuelo también es útil en zonas de ladera susceptibles a la erosión y en las partes planas cuando se requiera mayor información. La apertura de pequeñas trincheras o "minicalicatas" (huecos) es útil en estos casos.

Epocas de muestreo

Las muestras deberán ser tomadas y enviadas al laboratorio por lo menos con tres meses de anticipación a la fecha de siembra programada, con el fin de que los resultados permitan a los agricultores la aplicación de enmiendas antes de la siembra. Esto es especialmente importante en el caso de suelos ácidos que requieren aplicación de cal, pues esta aplicación debe hacerse aproximadamente un mes antes de la fecha programada para la siembra. Por lo tanto, los resultados del análisis deben estar disponibles unos dos meses antes de esta fecha y poder así contar con el tiempo para la obtención de créditos, compra y aplicación de la cal. El trabajo de laboratorio requiere, en condiciones normales, un mes (ICA, 1980; Marin *et al.*, 1978).

Áreas en donde no se deben tomar las submuestras

- Áreas muy pequeñas que difieren mucho del resto del campo y que por su tamaño no tienen significación en la producción.
- Áreas de antiguos canales, carreteras o caminos, en las orillas de las cercas, cerca

de casas, árboles, basureros y sesteaderos de ganado, en parches pantanosos, puntos donde se han realizado quemadas, etc.

Formas de tomar la muestra

Para tomar las submuestras se necesitan:

- Pala o garlancha
- Barreno y/o sacabocado; el sacabocado debe usarse en suelos húmedos y el barreno en suelos no muy húmedos o muy secos (Figura 5A).
- Machete o cuchillo
- Balde plástico
- Bolsas plásticas limpias, para 1 kg, de calibre mediano o grueso
- Hojas de información
- Etiquetas de identificación
- Bandas de caucho
- Lápices y marcadores

Las herramientas para el muestreo deben estar limpias.

Cuando la herramienta usada para tomar la muestra es una pala o garlancha se procede de la siguiente manera:

- En cada punto para ser muestreado se deben eliminar de la superficie del suelo plantas, restos de plantas, residuos frescos de materia orgánica, con el fin de que la muestra de suelo no contenga materiales extraños.
- Luego se cava un hueco en forma de "V", cuyo tamaño sea del ancho de la pala y de una profundidad de 20 cm (Figura 5B).

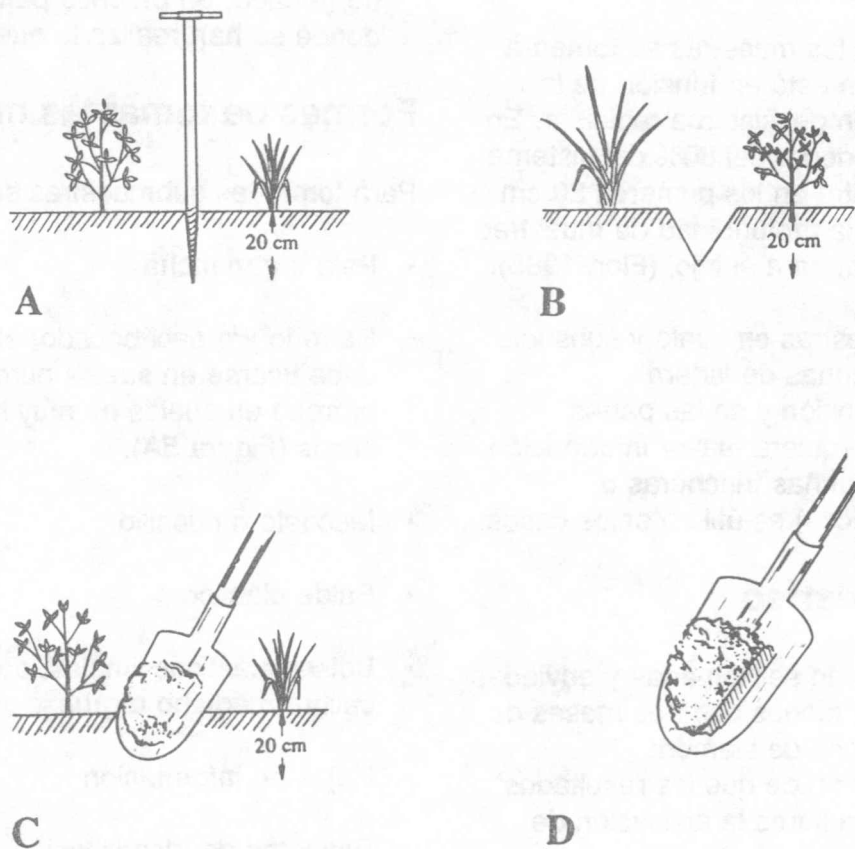


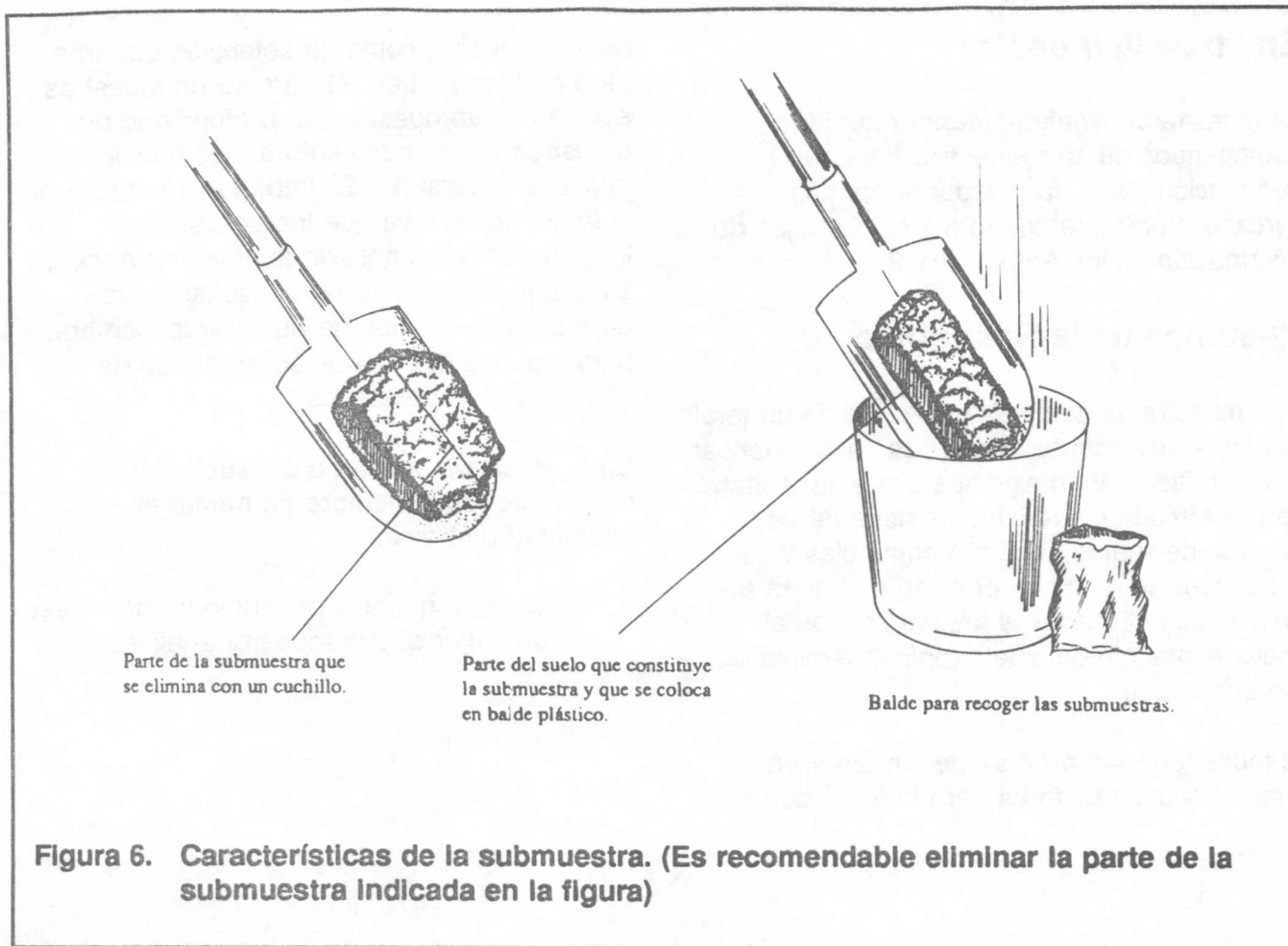
Figura 5. (A) Uso del barreno (B) hueco para el uso de la pala (C) uso de la pala (D) porción o tajada de suelo con espesor de 2-3 cm

- En la pared del hueco se corta una tajada de suelo de 2 a 3 cm de grueso y se toma una faja de unos 3 a 5 cm de ancho (Figura 5C y 5D). Esta porción se coloca en un balde y se repite la operación en 15 o más puntos si el lote es de más de tres hectáreas. (Figura 6).
- Las 15 o más submuestras se mezclan bien en un balde plástico limpio con el fin de homogenizar el suelo recolectado.
- Del suelo homogenizado se retiran aproximadamente 500 gramos y se colocan en una bolsa plástica. Se obtiene así la muestra representativa del área para la cual se requieren las recomendaciones de fertilizantes y/o enmiendas.

Nunca se deben colocar las muestras en recipientes usados o sucios, como latas o sacos de leche en polvo, sacos de fertilizantes, insecticidas, cemento, cal, etc. (ICA, 1980; Marín *et al.*, 1975, Tisdale and Nelson, 1970).

En caso de que el muestreo de suelos se necesite para lotes donde se vayan a hacer experimentos se recomienda lo siguiente:

Para lotes experimentales donde las variables en estudio correspondan a enfermedades, plagas, comparación de líneas y variedades, se toma una muestra para todo el ensayo a una profundidad de 0-20 cm.



- Para lotes experimentales donde se estudien variables relacionadas con la fertilidad del suelo, se toma una muestra por cada repetición, a una profundidad de 0-20 cm.
- En estudios especiales relacionados con salinidad-sodio, uso de enmiendas, etc. es recomendable muestrear también a una profundidad de 20 a 40 cm y en función de análisis y resultados preliminares debe hacerse a mayores profundidades.
- Una vez tomada la muestra se identifica con una etiqueta que se amarra a la bolsa, la cual debe contener información acerca de la profundidad a la cuál se tomó, lugar de muestreo, fecha, número de la muestra, finca, municipio, etc.

Hoja de información

Es muy importante que cada muestra vaya acompañada de una hoja de información suministrada por los laboratorios. En general, se solicita la siguiente información: nombre y dirección completa del solicitante; nombre de la finca; municipio donde está localizada; altura sobre el nivel del mar; tipo de análisis solicitado; profundidad de toma de la muestra; superficie que representa la muestra; drenaje interno (bueno, regular o malo); aplicaciones de cal y/o fertilizantes en los últimos años, posible aplicación de riego; cultivos sembrados en los últimos años; tipos y dosis de fertilizantes aplicados; rendimientos con fertilizantes y sin fertilizantes. Esta información es una ayuda muy valiosa para la formulación de las recomendaciones que cada agricultor necesita.

Envío de la muestra

La muestra convenientemente rotulada y acompañada de su respectiva hoja de información se envía al laboratorio más cercano. Ver diferentes formatos de hojas de información en los Anexos 1 y 2.

Resumen de la Secuencia

Una muestra de suelo es una parte de un total que debe representar todas sus características y propiedades. Esto significa que si la muestra es mal tomada los resultados del análisis químico de suelos no serán confiables y como consecuencia el mayor error se cometerá al aplicar los fertilizantes y las enmiendas al iniciar el manejo del suelo (aplicar fertilización y/o enmienda).

Al muestrear una área se deben tener en cuenta muchos factores para la toma de una

buena muestra, como: la selección del área para cada muestreo, el número de muestras simples o submuestras, la profundidad de muestreo y el seguimiento de los principales pasos para tomarla. Es importante considerar el factor tiempo, ya que los análisis de laboratorio duran aproximadamente un mes, y se requiere contar con los resultados de dichos análisis antes de efectuar la siembra, para algunas decisiones sobre el uso de enmiendas y fertilizantes.

En la etapa de muestreo del suelo es importante tener siempre en mente el postulado que dice:

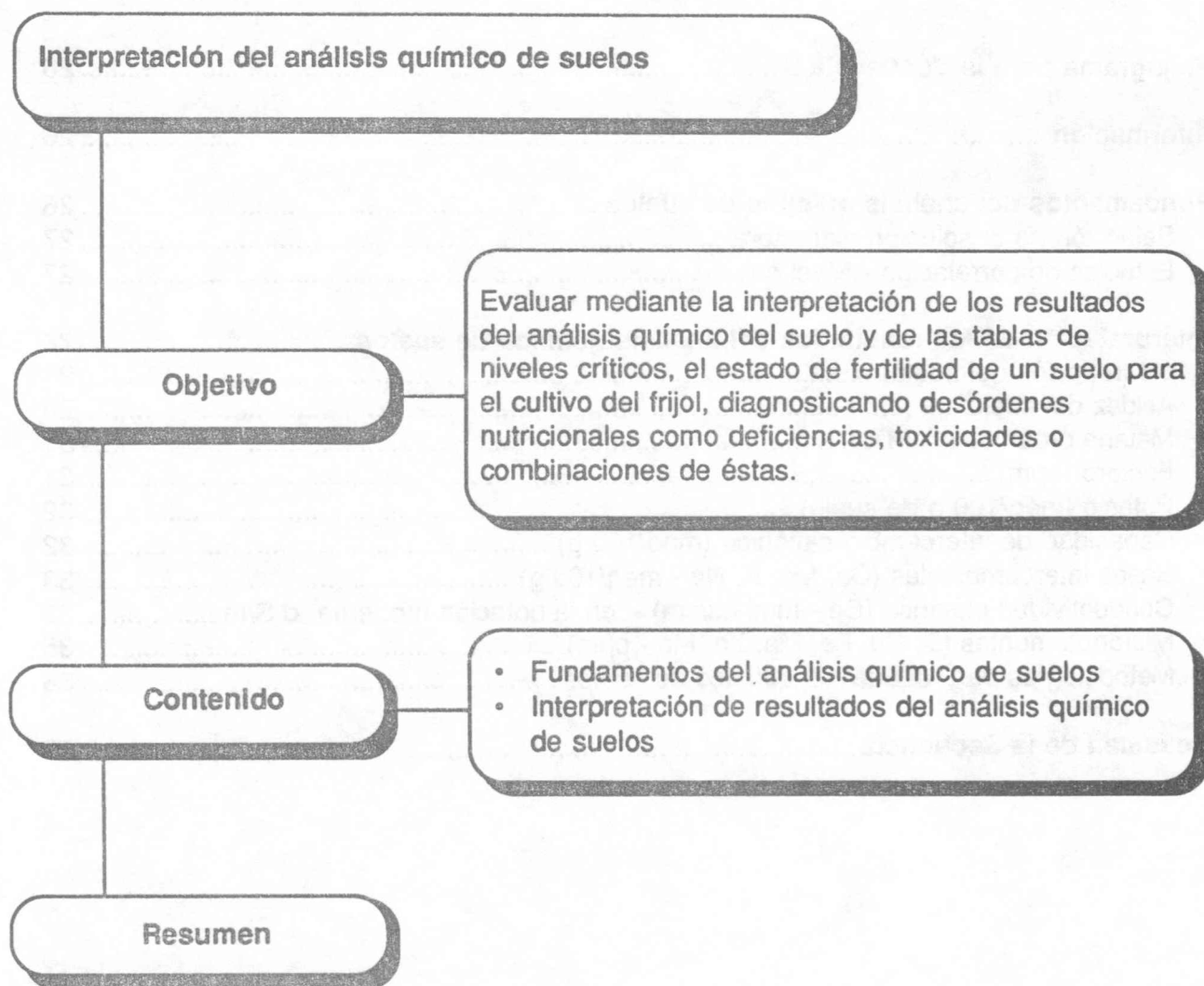
“ El análisis químico del suelo no podrá ser nunca mejor que la muestra analizada”.

Secuencia 3. Interacción del análisis químico de suelos

Página

Flujograma para la Secuencia 3	26
Información	26
Fundamentos del análisis químico de suelos	26
• Selección de la solución extractora	27
• Estudios de correlación - Nivel crítico	27
Interpretación de los resultados del análisis químico de suelos	28
• pH (reacción del suelo)	28
• Acidez del suelo	28
• Materia orgánica (% M.O.)	31
• Fósforo (ppm)	31
• Potasio (meq/100 g de suelo)	32
• Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	32
• Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na - meq/100 g)	33
• Conductividad eléctrica (Ce - mmhos/cm) - en la notación moderna d S/m	35
• Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo - ppm)	35
• Metodologías para el análisis químico de suelos	36
Resumen de la Secuencia	37

Flujograma para la Secuencia 3



Información

La interpretación del análisis de suelos es la fase más importante y más difícil en un programa de utilización de los análisis para la recomendación de uso de fertilizantes. No se trata solamente de conocer los niveles críticos, sino de poder tener un concepto global del análisis, considerando las relaciones entre los nutrientes y las relaciones del suelo con la planta, con el agua y con el clima en general.

Fundamentos del análisis químico de suelos

Para que los resultados de un análisis químico de suelos sean confiables hay dos aspectos esenciales:

- El uso adecuado de soluciones extractoras de la fracción disponible de los nutrientes, para los diferentes grupos de suelos.

- La utilización de niveles críticos y tablas de interpretación confiables, calibrados para la solución extractora más adecuada según los grupos de suelos y según los cultivos.

Selección de la solución extractora

La escogencia de una solución extractora se basa en la correlación entre "la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta". Una solución extractora será eficiente o adecuada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción por la planta y viceversa, o sea cuando los valores bajos de absorción coincidan con baja absorción del elemento por parte de la planta.

Las soluciones extractoras usadas en los laboratorios extraen del suelo una fracción del total de un nutrimento dado. En la medida que la fracción del nutrimento extraída por la solución extractora se parezca a la cantidad del nutrimento extraída por las raíces, mayor será la correlación entre la respuesta del cultivo y la cantidad de ese nutrimento en el suelo. Otro criterio que se usa es el de la selección de aquella solución extractora que dé una mayor correlación entre los valores de extracción del nutrimento en su fracción disponible y la respuesta de la planta indicadora o del cultivo a la aplicación del mismo, ya sea bajo condiciones de invernadero o en el campo.

Existe una gran cantidad de soluciones extractoras para cada nutrimento; esto trae como consecuencia que las cantidades de nutrimentos extraídas sean muy variadas, por lo que es necesario especificar la metodología (solución extractora) que se utiliza para realizar el análisis, ya que esta información es básica para hacer una adecuada interpretación (Sánchez, P. 1981, Garavito, F. 1979; ICA, 1980).

Estudios de correlación - Nivel crítico

Los estudios de correlación son pruebas de campo que permiten correlacionar el resultado

de los análisis con la respuesta de los cultivos a la fertilización. Permiten comparar y correlacionar la respuesta a un nutrimento dado (P o K) con el contenido de éste en el suelo. Suelos bajos en el nutrimento deben responder positivamente a la aplicación de fertilizante; suelos altos en el nutrimento no tendrán ninguna respuesta.

Como resultado de estos estudios es posible determinar los "niveles críticos" para cada nutrimento. Hay dos clases de niveles críticos:

- Nivel crítico para deficiencias
- Nivel crítico para toxicidades

El "nivel crítico para las deficiencias" es la cantidad de nutrimento por debajo de la cual se afectan en forma negativa y significativa los rendimientos del frijol. Se aplica para los nutrimentos esenciales: P, K, Ca, Mg, Zn, B, Fe, Cu. Cuando la cantidad de nutrimento faltante se aleja en sentido decreciente del nivel crítico, aumenta la probabilidad de respuesta a la aplicación del nutrimento (Flor, 1985). En el Anexo 3 se presentan las aproximaciones a los niveles para deficiencias en frijol para suelos de regiones medias y cálidas.

En el área centroamericana se han desarrollado tablas de niveles críticos generales, especialmente para las soluciones extractoras Olsen modificada y Carolina del Norte, utilizadas más comúnmente en las determinaciones de fósforo, potasio y micronutrientes. Sin embargo, es importante señalar que los niveles críticos utilizados no han sido actualizados y muchos de ellos no son específicos para el frijol, razón por la cual la información presentada corresponde en muchos casos a valores de niveles críticos que no siempre han sido determinados en América Central o a niveles críticos generales.

El "nivel crítico para las toxicidades" es una cantidad de un elemento o sustancia por

encima de la cual se afectan en forma negativa y significativa los rendimientos de frijol. Se aplica para aquellos elementos como el aluminio (Al), sodio (Na) y sustancias como las sales (cuantificadas por la conductividad eléctrica).

Cuando la cantidad de estos elementos y/o sales se aleja en sentido creciente con respecto al nivel crítico, aumenta la probabilidad de daño al cultivo y/o disminución en los rendimientos del frijol (Flor, 1985). En el Anexo 3 se presentan las aproximaciones a los niveles críticos para las toxicidades de aluminio, sodio y sales en suelos de regiones medias y cálidas

Interpretación de los resultados del análisis químico de suelos

pH (reacción del suelo)

Para fines de diagnóstico, el pH refleja muchas condiciones existentes en el suelo. El pH es una medida de la concentración de los iones H^+ en la solución del suelo. Los suelos con pH comprendidos entre 5.6 y 7.3 son considerados ideales, pues es en este rango donde todos los elementos nutritivos presentan mayor disponibilidad para las plantas. Un suelo con un pH igual o inferior a 5.5 indica que el contenido de bases es muy bajo, y por lo tanto posiblemente se presenten deficiencias de calcio, magnesio, fósforo, molibdeno y boro. Igualmente se pueden presentar ciertas toxicidades tales como las causadas por manganeso, aluminio y hierro.

La disponibilidad del fósforo está estrechamente relacionada con el pH del suelo, siendo mayor en el rango de 5.6 a 7.0 y reduciéndose al mínimo por debajo o por encima de estos valores debido a la formación de fosfatos insolubles de Fe, Al o Ca, según sea el caso.

De manera general, de acuerdo con el pH los suelos se clasifican así:

De 4.5 a 5.5	Fuertemente ácidos
De 5.6 a 6.5	Ligeramente ácidos
De 6.6 a 7.3	Neutros
Más de 7.3	Alcalinos

Una clasificación más amplia de los suelos y de las características que presentan de acuerdo con los niveles de pH se expone en el Cuadro 5.

Acidez del suelo

La acidez de los suelos está asociada con la presencia de H^+ y Al^{3+} en formas intercambiables y solubles; de acuerdo con esto se tienen dos categorías:

- acidez activa que está representada por los iones H^+ en la solución del suelo; se mide potenciométricamente y se expresa en unidades de pH; y
- acidez potencial, que está asociada con los iones H^+ y Al^{3+} retenidos sobre las superficies de los coloides orgánicos y minerales; se mide por medio de la extracción del H^+ y el Al^{3+} con una sal neutra (KCl 1.0 N) y se expresa como meq/100 g de suelo.

Generalmente con valores de pH por debajo de 5.5 en suelos minerales y por debajo de 5.0 en suelos orgánicos existen problemas con Al, especialmente en plantas muy susceptibles como el frijol.

En América Central los suelos ácidos ocupan áreas considerables. Gran parte de los territorios de Guatemala, Nicaragua y Costa Rica están cubiertos de suelos ácidos derivados de cenizas volcánicas (andisoles); más del 50% de los suelos de Costa Rica tienen un pH menor a 6.5; Panamá posee grandes áreas de suelos ácidos del orden Ultisol e Inceptisol y en Honduras más del 30% del territorio corresponde a suelos ácidos de los órdenes Ultisol e Inceptisol.

Cuadro 5. Clasificación y características de los suelos de acuerdo con los niveles de pH

Clasificación	Niveles	Características
Muy ácidos	< 5.5 por Al,	Se pueden presentar toxicidades causadas Fe, Mn y deficiencias de P, Ca, Mg, Mo y N. Es necesario encalar.
Medianamente ácidos	5.5. - 5.9	Baja solubilidad del P y regular disponibilidad de Ca y Mg. Algunos cultivos requieren encalamiento.
Ligeramente ácidos	6.0 - 6.5	Es la condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
Neutros	6.6.- 7.3	Buena disponibilidad de Ca y Mg; moderada disponibilidad de P; baja disponibilidad de micronutrientes excepto de Mo.
Alcalinos	7.4 - 8.0	Posibles excesos de Ca, Mg y carbonatos. Baja solubilidad del P y micronutrientes con excepción del Mo. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas.
Muy alcalinos	> 8.0	Posible exceso de Na. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

Criterios para considerar el aluminio como problema

Los criterios usados para establecer si el aluminio representa un problema para el frijol son: a) los contenidos de Al intercambiable en el suelo; b) la relación $\frac{Ca + Mg + K}{Al}$ y c) el % de saturación de Al (Cuadro 6).

Niveles tóxicos de aluminio

Aunque la literatura reporta que los niveles tóxicos mínimos de Al intercambiable varían de 0.1 a 3.0 meq/100 g, se sabe que ningún

valor específico es usado para definir niveles tóxicos en todos los suelos y en todos los cultivos. En general, se ha encontrado que contenidos mayores a 1 meq de Al/100 g soluble afectan a la mayoría de las plantas.

En el Cuadro 7 se presentan los rangos de clasificación de los valores de aluminio intercambiable y sus efectos en los cultivos.

El nivel crítico de Al (por el método KCl 1N) para frijol determinado por Howeler (1980) fue 1 meq/100 g.

Cuadro 6. Criterios para considerar el Al como problema

Criterios	Niveles (meq/100 g de suelo)
Contenido de Al	Mayor que 1.0
Relación $\frac{Ca + Mg + K}{Al}$	Menor o igual a 1.0
% de saturación de Al	Mayor que 10% si el suelo es mineral Mayor que 50% si el suelo es orgánico

Cuadro 7. Evaluación del aluminio intercambiable del suelo y su efecto en los cultivos

Aluminio Intercambiable meq/100 g	Evaluación	Efectos
Menos de 0.3	Bajo	No tóxico
0.4 a 1.0	Medio	Tóxico para cultivos muy susceptibles
Más de 1.0	Alto	Tóxico, especialmente para las leguminosas

En el Cuadro 8 se reportan los valores para Al e H intercambiable y su clasificación de acuerdo con su concentración.

Cuadro 8. Al e H Intercambiables

Clasificación	Al ³⁺	H ⁺
Bajo	0 a 0.3	0 a 2.0
Medio	0.4 a 1.0	2.1 a 4.0
Alto	> 1.0	> 4.0

Se establece sobre la base de la capacidad de intercambio catiónico efectiva, así:

$$\% \text{ de saturación de Al} = \frac{\text{meq Al}^{3+}}{\Sigma (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Al}^{3+}) \text{ meq}} \times 100$$

Porcentaje de saturación de aluminio

En la práctica, el mejor criterio para evaluar el efecto del aluminio es de acuerdo con su porcentaje de saturación en el complejo de cambio.

El nivel crítico del porcentaje de saturación de aluminio varía según el suelo sea mineral u orgánico. En suelos minerales es 10%; en suelos orgánicos es 50%.

Manganeso en el suelo y su toxicidad para el frijol

En el suelo el manganeso se encuentra en tres formas: Mn²⁺, Mn³⁺, Mn⁴⁺; solamente el Mn²⁺ es asimilable por las plantas. El Mn³⁺ y Mn⁴⁺ pueden ser fácilmente reducidos a Mn²⁺ si el terreno está sujeto a inundación temporal durante la época de lluvia.

Suelos ácidos derivados de cenizas volcánicas, como los andisoles, tienen un alto contenido de este nutriente. En estos casos existe la posibilidad de daño al frijol.

Sin embargo, la planta de frijol puede absorber bastante Mn antes de presentar síntomas de toxicidad y bajar el rendimiento. Los niveles tóxicos para este elemento están alrededor de 100 ppm en el suelo y 1000 ppm en el follaje.

Materia orgánica (% M.O.)

La materia orgánica del suelo se calcula indirectamente determinando el carbono orgánico por el método de Walkley y Black. Se expresa como porcentaje del peso total del suelo. En términos generales la materia orgánica dividida por 20 es igual al porcentaje de N en suelos minerales.

La determinación de la materia orgánica está basada en la determinación de carbono por diferentes procedimientos. Los valores de carbono se expresan en porcentaje. Al multiplicarse el porcentaje de carbono por el factor convencional de van Vammelen de 1.724 se obtiene el porcentaje de materia orgánica. El uso de este factor se ha generalizado teniendo en cuenta que la materia orgánica del suelo contiene en promedio 58% de carbono.

La materia orgánica tiene influencia en la capacidad de intercambio catiónico; cada 1% de materia orgánica representa 2 meq/100 g de suelo en incremento en la capacidad de intercambio catiónico. Es fuente principal de N, P, S y tiene influencia en el suministro de los elementos menores Fe, Cu, Mn, Zn y B.

Las recomendaciones de nitrógeno se establecen teniendo en cuenta las respuestas de los cultivos a este nutriente en condiciones de campo y el contenido de materia orgánica. Para hacer las recomendaciones de nitrógeno es importante conocer la textura de los suelos; se requieren cantidades más altas de nitrógeno en suelos

arenosos que en suelos arcillosos con igual contenido de materia orgánica (ICA, 1980).

La materia orgánica ejerce efectos benéficos en las propiedades físicas del suelo. La adición de materia orgánica a suelos arcillosos los hace más fácilmente laborables, promueve el desarrollo de estructura granular y da mayor estabilidad a los agregados. Como resultado de esto se favorecen la aireación y la infiltración. En suelos arenosos la materia orgánica aumenta la capacidad de retención de humedad y con esto se reducen los riesgos de pérdida de nutrientes por lavado.

Los horizontes A de los suelos explotados agrícolamente presentan por lo general valores entre 0.1 y 10% de materia orgánica; el contenido decrece con la profundidad en el perfil del suelo.

En el Cuadro 9 se dan los niveles de clasificación para el contenido de materia orgánica en suelos minerales.

Cuadro 9. Clasificación de los suelos minerales según su contenido de materia orgánica

Clasificación	Niveles (%)
Bajo	0 - 2
Medio	2.1 - 4
Alto	Mayor que 4

Fósforo (ppm)

El fósforo en los análisis de suelos se expresa en ppm de la forma elemental (P). Existen varios métodos para la extracción de P del suelo. Sin embargo, no todos son igualmente adecuados para extraer la fracción aprovechable por las plantas, ya que algunas soluciones funcionan mejor en suelos ácidos y otras son buenas en suelos alcalinos.

En el Cuadro 10 se presenta la clasificación de los suelos de acuerdo con la cantidad de fósforo extraída y la probabilidad de respuesta del cultivo a la aplicación de este nutriente.

Cuadro 10. Clasificación de suelos según la cantidad de fósforo extraído - (Olsen Modificado)

Clasificación	Niveles (ppm)	Probabilidad de respuesta
Deficiente	< 2	Alta
Nivel crítico	12	Baja
Alto	> 20	Nula

En el Cuadro 11 se presentan los niveles críticos del P encontrados por Howeler (1980) para el frijol y la metodología de extracción utilizada.

Cuadro 11. Niveles críticos de P en el suelo según la metodología de extracción utilizada

Métodos	Niveles críticos
Bray I	11 ppm
Bray II	15 ppm
Olsen - EDTA	14 ppm
Carolina Norte	13 ppm

Si un suelo tiene un contenido de P de 8 ppm determinado utilizando la solución extractora Bray I, este valor está por debajo del nivel crítico que es 11 ppm, lo cual indica que hay deficiencia de P y por lo tanto hay probabilidad de respuesta a la aplicación del nutrimento (Howeler, 1980; ICA, 1980).

Potasio (meq/100 g de suelo)

El potasio es el segundo de los llamados elementos mayores o macronutrientes del

Cuadro 12. Clasificación de suelos de acuerdo con el contenido de K Intercambiable (meq/100 g)

Clasificación	Niveles meq/100g	Probabilidad de respuesta
Bajo a deficiente	< 0.20	Alta
Nivel crítico	0.20	
Alto	> 0.40	Baja a nula

cultivo del frijol; las especies cultivadas consumen una apreciable cantidad de K durante su ciclo de vida y en general requieren más cantidad de este elemento que de cualquier otro, excepto del N. Los requerimientos de K varían de acuerdo con la especie y el rendimiento alcanzado; las leguminosas requieren entre 100 y 200 kg K/ha.

El Cuadro 12 muestra la clasificación de los suelos de acuerdo con el contenido de K extractable y la probabilidad de respuesta del cultivo a la aplicación de este nutrimento.

Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)

Los cationes utilizados por las plantas se encuentran en la solución del suelo o retenidos por la fracción mineral. Los cationes absorbidos por los coloides del suelo pueden ser cambiados por otros cationes de la solución del suelo; por eso la CIC representa el número total de posiciones intercambiables o cargas negativas de la fracción coloidal del suelo, expresados en meq/100 gramos de suelo.

La CIC está asociada directamente con la textura, tipo de arcilla y contenido de materia orgánica. Es deseable que un suelo presente una CIC alta, asociada con una buena saturación de bases, ya que ésto indica una gran capacidad potencial de suministro y reserva de Ca, Mg y K. Un suelo con baja CIC tendrá muy poca capacidad para retener nutrimentos.

En términos generales un estimativo conceptual de la CIC se presenta en el Cuadro 13. Una escala aproximada de la CIC de acuerdo con la textura se presenta en el Cuadro 14.

Cuadro 13. Tabla para interpretación de los valores de la capacidad de intercambio catiónico del suelo

Clasificación	Rangos (meq/100 g)
Baja	Menor que 10
Media	De 10 - 20
Alta	Mayor que 20

Cuadro 14. Capacidad de Intercambio catiónico según la textura del suelo

Texturas	Rangos (meq/100 g)
Pesados (arcillosos)	25 - 50
Medianos (francos y limosos)	10 - 30
Livianos	5 - 15
Suelos orgánicos (con más de 20% de M.O)	Mayor que 50

En el Cuadro 15 se presenta una escala de la CIC cuando ésta es calculada por sumatoria de los cationes intercambiables (capacidad de intercambio catiónico efectiva).

Cuadro 15. Tabla de Interpretación para los valores de la C.I.C. efectiva del suelo

Clasificación	Niveles (meq/100 g)
Baja	< 5.0
Media	5.1 a 10.0
Alta	> 10.0
CIC = $Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + (H^{+} + Al^{+++})$	

Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na-meq/100 g)

Los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} representan la fracción dominante del total de cationes absorbidos por los coloides del suelo y presentes en la solución del mismo. Para fines del diagnóstico de la fertilidad del suelo, la disponibilidad de estos cationes se determina extrayendo su fracción cambiante con una solución de sal neutra, como el acetato de amonio normal, cloruro de potasio 1N, Olsen modificado, etc.

En general, es difícil de establecer niveles críticos para Ca, Mg y Na. En la mayoría de los casos se debe tener en cuenta no solamente el elemento intercambiable sino también el porcentaje de saturación del complejo de cambio y el pH del suelo. Se presenta el estimativo conceptual de las bases en los suelos y el porcentaje de saturación de las mismas.

En el Cuadro 16 se reportan los niveles para interpretación del porcentaje de saturación de las bases.

Cuadro 16. Tabla para la Interpretación del porcentaje de saturación de bases en el suelo calculado según la fórmula: $(Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+}) \times 100$

Clasificación	Niveles %
Baja	0 - 40
Media	41 - 60
Alta	> 80

Calcio (Ca meq/100 g)

Es necesario tener en cuenta los resultados del calcio obtenidos en el análisis del suelo para prever una posible necesidad de aplicarlo, no como corrector sino como nutrimento. Mientras se fijan con exactitud los niveles críticos de Ca se puede considerar que un valor menor de 2 meq/100 g de Ca es bajo. Valores de Ca intercambiables superiores a 15 meq/100 g deben considerarse como muy altos y posiblemente causan interferencia o antagonismo con otros elementos, como K, Mg, Fe, Zn, Mn y B.

Las necesidades de Ca por parte de los cultivos son por lo general más bajas que las de K y oscilan entre 20 y 150 kg/ha. El frijol necesita aproximadamente 54 kg de Ca/ha. El nivel crítico de Ca (determinado con acetato de amonio) encontrado por Howeler (1980) para frijol fue 4.5 meq/100 g.

En el Cuadro 17 se reporta una clasificación de los suelos por su contenido de Ca.

Cuadro 17. Clasificación del suelo de acuerdo con la cantidad de calcio extraído con KCl 1.0 N

Clasificación	Niveles (meq Ca/100 g)
Deficiente	0.3
Nivel crítico	2.2
Alto	> 4.0

Magnesio (Mg - meq/100 g)

En el caso del magnesio, se pueden inducir deficiencias de este elemento al aplicar dosis altas de Ca y K, si el nivel de Mg en el suelo es bajo. El nivel crítico de Mg reportado por Howeler (1980) para frijol fue de 2.0 meq/100 g (acetato de amonio IN) y 50 ppm (Carolina del Norte).

Varios autores sostienen que en la interpretación de la disponibilidad de Mg, la relación Mg/K es mejor índice que el contenido

de Mg intercambiable o del porcentaje de saturación del elemento. El nivel crítico postulado por ellos para la relación está alrededor de 1.6; entonces si la relación Mg/K es inferior a esta cifra, se manifiesta la deficiencia de Mg por inhibición competitiva (Guerrero, 1984).

En el Cuadro 18 se reportan niveles para la interpretación de la relación de Mg/K.

Cuadro 18. Tabla para la Interpretación de la relación Mg/K en el suelo

Clasificación	Niveles
Baja	0.2
Nivel crítico	1.6
Alta	> 3.6

En el Cuadro 19 se reportan algunos valores como índices para el contenido de Mg en el suelo.

Cuadro 19. Tabla para la Interpretación de los niveles de magnesio en el suelo en meq/100 g (Olsen modificado)

Clasificación	Niveles (meq/100 g)
Deficiente	0.12
Nivel crítico	0.8
Alto	> 2.0

Relación Ca/Mg

Uno de los problemas comunes de la fertilidad de los suelos se refiere a la relación Ca/Mg en el complejo coloidal del suelo. Normalmente se espera que el suelo tenga más Ca que Mg intercambiable, o sea que la relación Ca/Mg sea superior a la unidad. La mayoría de las plantas crecen normalmente en suelos cuya relación Ca/Mg es de 3:1 a 4:1 (Flor, 1985).

$$\text{Relación } \frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$$

En cuanto al K disponible, la relación $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$

constituye un buen índice para el diagnóstico de la disponibilidad de este elemento, ya que relaciones altas coinciden con una alta probabilidad de respuesta a la fertilización potásica.

Una relación $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$ demasiado alta (> 60)

puede indicar deficiencia de K.

En el Cuadro 20 se presentan rangos y clasificación de la relación $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$

Cuadro 20. Tabla de valores para la Interpretación de la relación $\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{\text{K}}$ en el suelo

Clasificación	Relación
Bajo	3.5
Nivel crítico	10.0
Alto	> 60.0

Sodio (Na - meq/100 g)

Aunque el sodio no es un elemento esencial para las plantas, su efecto en las propiedades físicas de los suelos hace que cause disturbios en la capacidad de nutrición de los mismos, especialmente cuando se trata de suelos salinos.

El exceso de Na confiere al suelo propiedades físicas indeseables; son suelos muy difíciles de laborar, porque al humedecerse se tornan pegajosos y cuando se secan hay formación de costras duras y la penetración del agua se restringe. El pH es superior a 8.5 y el contenido de materia orgánica es bajo.

El PSI (porcentaje de sodio intercambiable) es un índice de la sodicidad del suelo. Se calcula usando la siguiente fórmula:

$$\text{PSI} = \frac{\text{Na (meq/100 g)}}{\text{CIC (meq/100 g)}} \times 100$$

En el caso de suelos sódicos el PSI es mayor que el 15%. Para frijol se ha encontrado un valor PSI crítico de 4%. Entonces, si un suelo "a" tiene una saturación de sodio de 5% y un suelo "b" tiene 7%, en los dos suelos el cultivo será afectado por el sodio, pues el nivel crítico es de 4%; la probabilidad de que el frijol resulte afectado por el sodio será mayor en el suelo "b".

Conductividad eléctrica (CE - mmhos/cm; en la notación moderna d S/m)

La conductividad eléctrica es un índice de la salinidad. Esta determinación es muy importante en suelos alcalinos dado que el frijol es una planta muy susceptible a la salinidad. En general con cifras por encima de 0.8 milimhos/cm (o sea 0.08 dS/m en la notación moderna) se restringe el rendimiento de este cultivo.

Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo - ppm)

Los "micronutrientes o elementos menores" boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y molibdeno (Mo) son tan importantes para la nutrición de las plantas como los nutrientes mayores y los secundarios, aunque no se requieran grandes cantidades de ellos. Su deficiencia en el suelo puede limitar el crecimiento de las plantas a pesar de que todos los otros elementos esenciales se encuentren en cantidades adecuadas.

El diagnóstico químico de la disponibilidad de microelementos es particularmente difícil, ya que la más ligera contaminación de una muestra o la modificación de un procedimiento, pueden alterar seriamente los resultados del análisis. La mayoría de la información existente sobre niveles críticos para elementos menores se ha obtenido para

suelos de zona templada. En la zona tropical, la investigación sobre el particular es aún muy restringida.

En el Cuadro 21 se dan los valores críticos para elementos menores reportados por varios autores.

Howeler (1980) encontró para frijol los niveles críticos de micronutrientes indicados en el Cuadro 22.

En el Cuadro 23 se dan algunos valores tentativos para evaluar el suelo de acuerdo con el contenido de azufre (S).

Cuadro 21. Evaluación del contenido de micronutrientes del suelo (Olsen modificado)

Micronutrientes	Deficiente (ppm)	Nivel crítico (ppm)	Alto (ppm)
Zinc (Zn)	0.4	3	> 6
Cobre (Cu)	0.1	1	> 3
Hierro (Fe)	1	10	> 20
Manganeso (Mn)	0.7	5	> 10
Boro (B)	0.03	0.2	> 0.5

Cuadro 22. Niveles críticos de elementos menores para el cultivo del frijol

Elementos	Métodos extracción	Niveles críticos ppm
B	Agua caliente	0.4 - 0.6
Zn	Carolina Norte	0.8
Mn	Carolina Norte	5
Cu	0.5 M - EDTA	0.7
Fe	NH ₄ C ₂ H ₃ O ₂ (pH 4.8)	2.0

Cuadro 23. Clasificación de suelos según el contenido de S

Clasificación	Niveles (ppm)
Deficiente	2
Nivel crítico	12
Alto	20

Metodologías para el análisis químico de suelos

A continuación se detallan las metodologías para hacer análisis químicos de suelos más utilizadas por los laboratorios de varios países de América Central (Cuadro 24).

El Anexo 4 es un ejemplo de la forma como los laboratorios reportan los resultados de un análisis químico de suelos.

Cuadro 24. Metodologías más utilizadas en América Central para hacer análisis de suelos

Determinaciones	Soluciones extractoras	Unidades de expresión
pH	En agua 1:2.5	números
Materia orgánica	Método de Walkley y Black	%
P, Fe, Cu, Mn, Zn	Olsen modificado	ppm
K	Olsen modificado	meq/100 ml suelo
Ca, Mg, Al, H int. CIC	KCl, 1 N	meq/100 ml suelo
CIC, K, Ca, Na, Mg	NH ₄ OAC, pH7 N	pH
B y S	Fosfato de calcio	ppm

Resumen de la Secuencia

Para evaluar el estado nutricional de un suelo dado, el método más rápido es el análisis químico de suelos. Sin embargo, hay que recordar que este procedimiento se basa en una simulación, por medio de soluciones extractantes, de lo que hacen las raíces de las plantas. Por lo tanto, para hacer confiable esta metodología deben hacerse estudios de correlación y calibración que asocien la capacidad de extracción de nutrimentos del suelo con la capacidad de extracción de las plantas. Como producto de estos estudios de calibración y correlación surgen los niveles críticos y posteriormente las tablas de interpretación para los datos de los análisis de suelos.

Los niveles críticos varían según la solución extractora, según el tipo de suelos y según el cultivo. Por lo tanto, antes de realizar una interpretación hay que tomar en cuenta las soluciones con las que se hizo el análisis y las tablas de interpretación de que se dispone.

La interpretación del análisis químico de suelos es fundamental para lograr éxito en un programa de fertilización. Una interpretación errada puede conducir a decisiones que afectan económicamente al productor y fisiológicamente al cultivo. También pueden ser causa de excesos, desequilibrios y deficiencias inducidos en el suelo.

Topic	Points to Remember	Key Words
1. Introduction	Write the date and address of the recipient.	Dear Sir/Madam,
2. Body	State the purpose of the letter clearly.	Respectfully,
3. Conclusion	Express your expectations or requests.	Yours faithfully,
4. Signatures	Write your name and contact details.	Sincerely,

Writing a Letter to the Editor

A letter to the editor is a type of letter that is written to a newspaper or magazine. It is usually used to express an opinion on a current event or issue. The letter is published in the newspaper or magazine, and it is often used to start a public discussion. When writing a letter to the editor, it is important to be clear and concise. You should state your opinion clearly and provide evidence to support it. You should also be respectful and avoid using inflammatory language. The letter should be addressed to the editor of the newspaper or magazine, and it should include your name and contact information. The letter should be typed and double-spaced, and it should be accompanied by a self-addressed envelope. The letter should be mailed to the newspaper or magazine's office.

When writing a letter to the editor, it is important to be clear and concise. You should state your opinion clearly and provide evidence to support it. You should also be respectful and avoid using inflammatory language. The letter should be addressed to the editor of the newspaper or magazine, and it should include your name and contact information. The letter should be typed and double-spaced, and it should be accompanied by a self-addressed envelope. The letter should be mailed to the newspaper or magazine's office.

Secuencia 4. Formulación de recomendaciones para el uso de fertilizantes y enmiendas con base en el análisis químico de suelos y los requerimientos nutricionales del cultivo del frijol

	Página
Flujograma para la Secuencia 4	40
Información	41
Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol	41
Formas como el frijol absorbe los nutrimentos	41
Formas de expresar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes	42
• Partes por millón (ppm)	42
• Miliequivalentes/100 g de suelo	43
Métodos de conversión de unidades	43
Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes	43
• Componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes	44
Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes en el cultivo del frijol. Ejemplo	47
• Fertilización foliar	50
Encalamiento de los suelos	51
• Movimiento descendente del calcio y del magnesio	52
Integración con otros factores de producción	52
Resumen de la Secuencia	53

Flujograma para la Secuencia 4

Formulación de recomendaciones para el uso de fertilizantes y enmiendas con base en el análisis químico de suelos y los requerimientos nutricionales del frijol

Objetivos

- ✓ Aplicar el concepto de requerimiento nutricional
- ✓ Identificar los factores necesarios para elaborar una adecuada recomendación para el uso de fertilizantes y cal para el frijol
- ✓ Reconocer las unidades en que se expresan los resultados del análisis químico
- ✓ Efectuar conversiones entre diferentes sistemas de unidades usadas en los análisis químicos y las recomendaciones
- ✓ Elaborar recomendaciones utilizando el análisis químico de suelos

Contenido

- Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol
- Formas como el frijol absorbe los nutrimentos
- Formas de expresar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes
- Métodos de conversión de unidades
- Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes
- Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes para el cultivo del frijol. Ejemplo
- Encalamiento de los suelos

Resumen

Información

El objetivo final al hacer un análisis de suelo es el de llegar a hacer una recomendación sobre los nutrientes que se necesita adicionar al suelo para obtener altos rendimientos y alta rentabilidad. Además de realizar una interpretación correcta de los resultados del análisis químico de suelos, se deben tener presentes otros factores importantes, como potencial de producción, eficiencia de los fertilizantes adicionados al suelo, etc.

Una fertilización racional tiene como finalidad proporcionar a la planta los nutrientes en una cantidad y calidad tales que se consiga el mayor rendimiento posible al más bajo costo. La racionalidad de la práctica depende principalmente de factores agronómicos, económicos y climáticos.

Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol

Los requerimientos nutricionales del frijol son las cantidades de cada uno de los nutrientes esenciales que el cultivo necesita para completar en forma normal sus fases vegetativa y reproductiva.

Un requerimiento nutricional promedio para variedades arbustivas de climas medios y cálidos es el siguiente:

Nitrógeno	135 kg/ha
Potasio	114 kg/ha
Calcio	54 kg/ha
Azufre	25 kg/ha
Magnesio	18 kg/ha
Fósforo	18 kg/ha

Por lo tanto, el orden de extracción de los nutrientes por el frijol es: $N > K > Ca > S > Mg > P$. Este orden de extracción no entra en conflicto con el carácter de esencialidad de los nutrientes (Flor, 1985).

Los requerimientos nutricionales son diferenciales. Esto significa que hay necesidad de determinarlos para cada variedad, en un sistema dado y en un ambiente específico.

Formas como el frijol absorbe los nutrientes

Los nutrientes no se encuentran en el suelo en su forma elemental y simple, sino que se encuentran en formas químicas de diferente composición y carga, algunas de las cuales son de más fácil absorción por las raíces de la planta que otras.

Los cationes de elementos metálicos son absorbidos en su forma iónica simple y algunos de ellos en forma de quelatos (Quelatos de Fe, etc.) (Cuadro 25).

El nitrógeno es el único nutriente que puede ser absorbido tanto en su forma aniónica (NO_3^-) como catiónica (NH_4^+).

Cuadro 25. Formas como el frijol absorbe los diferentes nutrientes del suelo

Nutrientes	Formas de absorción
N	NH_4^+ , NO_3^-
P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
K	K^+ , CaCa^{++}
Mg	Mg^{++}
S	SO_4^{2-}
B	BO_3H_2^-
Cl	Cl^-
Cu	Cu^{++} , quelatos
Fe	Fe^{++} , Fe^{+++} quelatos
Mn	Mn^{++}
Zn	Zn^{++}

Formas de expresar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes

Para llegar a formular adecuadamente una recomendación de fertilizantes es necesario conocer toda la gama de unidades en que se expresan los resultados en cada una de las etapas del proceso.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas:

Partes por millón (ppm)

Se denomina "parte por millón" a la millonésima parte de un todo compuesto de un millón de partes. Ej: un gramo en un millón de gramos; un c.c. en un millón de c.c.; un kilogramo en un millón de kilogramos.

Si un suelo tiene 10 ppm de P, ésto corresponde a 10 kg de P por un millón de kg de suelo; entonces ese suelo tendrá 20 kg de P/ha si su peso es de 2,000,000 kg/ha. La unidad "partes por millón" tiene una unidad equivalente que es utilizada en muchos laboratorios y se denomina ug/ml, usada cuando en el proceso de análisis se utiliza una relación vol/vol. Ejemplo: 5 ml de suelo/25 ml de extractante.

Los factores de conversión de ppm a kg/ha para diferentes valores de densidad aparente se presentan en el Cuadro 26.

Miliequivalentes/100 g de suelo (meq/100 g)

El equivalente químico de un elemento es su peso atómico dividido por su valencia o número de oxidación. Si se expresa en gramos se le denomina equivalente gramo. Entonces miliequivalente es el peso equivalente dividido entre 1000.

Ejemplo:

Calclo: Peso atómico 40 gramos Valencia 2

Entonces:

Equivalente gramo = $40 \text{ g} / 2 = 20 \text{ g}$

Miliequivalente = $20 \text{ g} / 1000 = 0.020 \text{ g} = 20 \text{ mg}$

Por lo tanto:

1 meq de Ca/100 g de suelo = 20 mg de Ca/100 g de suelo

Cuadro 26. Factores de conversión de partes por millón (ppm) a kilogramos por hectárea (kg/ha) a una profundidad de 0 - 20 cm, para suelos con diferentes valores de densidad aparente

Densidad aparente g/cc	ppm → kg/ha multiplicar por
0.5	1.0
0.6	1.2
0.7	1.4
0.8	1.6
0.9	1.8
1.0	2.0
1.1	2.2
1.2	2.4
1.3	2.6
1.4	2.8
1.5	3.0
1.6	3.2
1.7	3.4
1.8	3.6

En las recomendaciones los resultados pueden expresarse en kg/ha o lb/mz dependiendo a quien vayan dirigidas las mismas; por lo general los productores manejan mejor la expresión lb/mz.

En lo referente a los fertilizantes generalmente los nutrimentos que contienen figuran en la etiqueta del empaque del producto. Los más comunes son: nitrógeno (N), fósforo ($P_2 O_5$) y

potasio (K_2O). Estos nutrientes son los más usados para satisfacer las necesidades del cultivo.

La expresión más corriente de los nutrientes utilizada en los fertilizantes es en la forma de óxidos: P_2O_5 , K_2O , CaO , y muchas veces en las recomendaciones se utiliza esta misma notación. La tendencia moderna es cambiar la notación en forma de óxidos por la notación elemental, como se hace con el nitrógeno. Esto significa expresar el fósforo como P y no como P_2O_5 ; el potasio como K y no como K_2O ; el calcio como Ca y no como CaO , etc.

Métodos de conversión de unidades

Para realizar adecuadamente las conversiones entre unidades, es necesario el conocimiento de los pesos atómicos, las valencias, los miliequivalentes químicos, etc. Para obviar el manejo de esos conceptos y toda la serie de cálculos requeridos, se presentan en el Cuadro 27 los factores de conversión de meq/100 g a kg/ha utilizando los valores de densidad aparente y la profundidad 0 - 20 cm.

Cuadro 27. Factores de conversión de miliequivalentes por 100 gramos de suelo (meq/100 g) a kilogramos por hectárea (kg/ha) para suelos con diferentes valores de densidad aparente y a una profundidad de 0 - 20 cm

Densidad aparente g/cm ³	meq/100 g → kg/ha multiplicar por		
	K	Ca	Mg
0.5	390	200	120
0.6	468	240	144
0.7	546	280	168
0.8	624	320	192
0.9	702	360	216
1.0	780	400	240
1.1	858	440	264
1.2	936	480	288
1.3	1014	520	312
1.4	1092	560	336
1.5	1170	600	384
1.7	1326	680	408
1.8	1404	720	432

En el Cuadro 28 se presentan los factores de conversión para pasar de la notación en forma de óxidos a la notación elemental.

Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes

Los objetivos de la fertilización se pueden resumir de la siguiente manera:

- Obtención de rendimientos altos y sostenidos
- Costos económicos y ecológicos mínimos
- Mejoramiento de la calidad del producto obtenido.

La obtención de los máximos rendimientos con el mínimo de fertilizantes supone conseguir un máximo de eficiencia en la

fertilización; para que esto ocurra se deben tomar en consideración todos los componentes de la formulación de una recomendación.

- naturaleza del fertilizante
- época de aplicación
- método de aplicación
- aspectos económicos

Cuadro 28. Factores de conversión de la notación en forma de óxidos a la notación elemental

Notación en forma de óxidos	Dividir por factor	Notación elemental
P ₂ O ₅	2.29	P
K ₂ O	1.20	K
CaO	1.40	Ca
MgO	1.65	Mg
ZnO	1.25	Zn
MnO	1.29	Mn
CuO	1.25	Cu
B ₂ O ₃	3.21	B

Componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes

De acuerdo con la ecuación de Fried y Broeshart, la cantidad de fertilizante para aplicar está determinada por los siguientes factores:

$$Q = f(S, P, P_p, E)$$

en donde:

Q = dosis del nutrimento para aplicar

S = nivel de disponibilidad del nutrimento en el suelo

P = requerimiento nutricional de la planta respecto a un nutrimento dado

P_p = potencial de producción del cultivo

E = eficiencia de la fertilización

Al momento de formular la recomendación al productor también es necesario considerar:

Cantidad o dosis del nutrimento para aplicar

Se refiere a la cantidad del nutrimento para aplicar por unidad de superficie. Puede ser expresada en diferentes unidades. Ej: kg/ha, t/ha, libra/mz, qq/mz, etc.

Disponibilidad de nutrimentos en el suelo

El nivel de disponibilidad del nutrimento en el suelo es el factor que más influye en la cantidad de fertilizante para aplicar. Como se sabe, este factor es determinado en el laboratorio mediante el análisis químico de suelos.

La cuantificación de la disponibilidad se hace expresando la cantidad de nutrimento en términos de kg/ha o lb/mz, etc., tal como ya fue indicado.

Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol

Es la cantidad de nutrimentos necesaria para que una variedad de frijol complete en forma normal su ciclo vegetativo y reproductivo. Los nutrimentos pueden ser suministrados por el aire, como en el caso del N-Rhizobium, por el suelo y por los fertilizantes y/o enmiendas.

Potencial de producción del frijol

La producción de una planta es el resultado de la interacción entre su constitución genética y las condiciones climáticas, edáficas y de manejo.

Como potencial de producción se considera la producción máxima que una planta o un cultivo pueden alcanzar en condiciones óptimas. Este potencial es variable de acuerdo con el genotipo.

El frijol es producido en condiciones climáticas y edáficas muy diversas; por consiguiente,

para una misma variedad el potencial de producción será diferente en zonas diversas según sean los factores limitativos presentes; incluso dentro de una misma zona, las condiciones varían de una época de siembra a otra. Con un manejo adecuado se tratan de optimizar las condiciones que permitan obtener los más altos rendimientos y la mayor rentabilidad.

La eficiencia de los fertilizantes en función del suelo

La eficiencia de los fertilizantes nitrogenados varía según el tipo de suelo y las condiciones climáticas. En suelos livianos y con precipitaciones altas, la eficiencia se verá reducida principalmente por las pérdidas del N por lixiviación, sobre todo cuando se aplican fertilizantes nítricos. En suelos alcalinos y con presencia de carbonatos las pérdidas por volatilización en forma de amoníaco (NH_3) pueden ser muy altas cuando los fertilizantes no se incorporan y se tienen altas temperaturas y poca humedad.

Flor (1985) indica que los fertilizantes nitrogenados tienen en promedio una eficiencia del 50%.

Fassbender (1975) indica que la eficiencia de los fertilizantes fosfatados para suelos de América Central es:

Suelo	Eficiencia
Oxisoles	10 - 20 %
Ultisoles	20 - 30%
Andisoles	5 - 10 %
Aluviales	20 - 30 %

La eficiencia de los fertilizantes potásicos se estima en un 50% en promedio.

Cabe anotar que también existen condiciones que no es posible o no es rentable cambiar a un nivel que permita a la variedad o variedades desarrollar su potencial genético de producción: Ej. temperatura, precipitación, salinidad, profundidad de suelo, etc.

La cantidad de nutrimento requerida por un cultivo es proporcional al rendimiento que éste pueda alcanzar en una zona y época determinadas. Por lo anteriormente señalado, al momento de hacer la recomendación se debe de tener presente la capacidad máxima de producción de la variedad que se va a utilizar en la zona para la cual va dirigida la recomendación. En consecuencia, por ejemplo, una variedad para producir 1.5 t/ha necesitará 50% más de nutrimentos que para producir 1 t/ha.

Naturaleza o tipo del fertilizante

Se refiere al compuesto, producto o fuente comercial más adecuados para las condiciones de clima, características del suelo y tipo de cultivo hacia el cual va dirigida la recomendación.

En los fertilizantes hay varios aspectos que es necesario considerar:

- La forma química en que el nutrimento se encuentra en el fertilizante. Por ejemplo, en el caso del nitrógeno si está en forma de nitratos (nítrica), en forma de amonio (amoniacal), etc.

Graham, citado por Flor (1985), indica sobre la fertilización nitrogenada en frijol que no existe mucha diferencia entre el sulfato de amonio, el nitrato de amonio y la úrea como fuentes de nitrógeno.

- Si el fertilizante es simple o complejo. Si es simple se utiliza como fuente de un nutrimento. Ej: la úrea se utiliza como fuente de nitrógeno; el superfosfato triple es una fuente de fósforo; el sulfato de potasio es fuente de potasio. Fertilizantes complejos son los fertilizantes que se utilizan como fuente de dos o mas nutrimentos esenciales. Ejemplos las fórmulas 10-30-10, 15-15-15, 12-24-12, 18-46-0, etc. También se llaman fertilizantes completos.

- El grado, concentración o riqueza del fertilizante es la cantidad de nutrimentos esenciales presentes en 100 kg o lbs del fertilizante, expresada en porcentajes. En la fórmula 18-46-0, que es muy utilizada para el frijol, la primera cifra indica el porcentaje de nitrógeno disponible en el fertilizante, la segunda y tercera cifra indican los porcentajes de pentóxido de fósforo (P_2O_5) y óxido de potasio (K_2O), respectivamente. Debe recordarse que existen recomendaciones dirigidas al uso de la notación elemental (P, K, Mg, Ca...) en lugar de la notación en forma de óxidos y anhídridos (P_2O_5 , K_2O , MgO ...).
- La relación del fertilizante, es la proporción relativa de cada nutrimento respecto a los demás; así el fertilizante 10-30-10 tendrá una relación 1:3:1 (uno-tres-uno) de $N:P_2O_5:K_2O$.

Epoca de aplicación

Es el tiempo antes o durante el desarrollo del cultivo, en que es conveniente realizar la aplicación del fertilizante. Este tiempo está definido por la época en que el cultivo tiene los índices máximos de absorción. En general se identifican las siguientes épocas:

- Antes de la siembra
- Durante la siembra
- Después de la siembra

En América Central lo más común para el cultivo del frijol es la aplicación al momento de la siembra de fertilizantes completos, de diferentes fórmulas: 18-46-0, 12-30-10, 12-24-12, etc. En el caso de ser necesaria una aplicación adicional de nitrógeno, se recomienda hacerla 25 o 30 días después de la siembra, utilizando como fuente la urea.

Método o sistema de aplicación

Esto se refiere a los diferentes métodos que existen para adicionar el fertilizante al suelo o a la planta. Entre ellos se pueden mencionar:

- Aplicación al voleo
- Aplicación localizada
- Aplicación o fertilización foliar

En el caso del frijol para obtener una mayor eficiencia de la fertilización se recomienda aplicar el fertilizante en bandas. (Talavera, 1990; Otabbong, *et. al.*, 1991).

Cuando la fertilización se hace manualmente, como es común en el frijol, dado que éste es producido principalmente por pequeños y medianos productores, el fertilizante se debe aplicar en bandas continuas en el fondo del surco, inmediatamente antes de la siembra (Talavera, 1990; Otabbong, *et. al.*, 1991).

La aplicación complementaria de urea, en caso que sea necesario, debe hacerse en bandas a 5 cm del surco, e incorporarse para evitar la pérdida del nitrógeno por volatilización.

Otros aspectos importantes para tomar en cuenta al momento de formular las recomendaciones sobre el uso de fertilizantes

Criterio de exportación de nutrimentos

De acuerdo con el criterio de la exportación de nutrimentos, la fertilización debe hacerse devolviendo al suelo la misma cantidad de nutrimentos que salen del suelo con la cosecha. Según el Anexo 5 por cada tonelada de grano que se coseche se exportan o salen del suelo:

- 35 kg de N
- 5 kg de P
- 15 kg de K

Por lo tanto si se tiene una cosecha de 1.5 ton/ha. la fertilización que hay necesidad de hacer para mantener el nivel de fertilidad del suelo sería:

- 52 kg de N
- 7.5 kg de P
- 22 kg de K

Aspectos económicos

El uso eficiente de fertilizantes es uno de los principales componentes de la mayor productividad del cultivo de frijol. Como esta práctica representa un alto porcentaje de los costos totales de producción, es importante conocer los factores que influyen en la respuesta del cultivo de frijol a la aplicación de fertilizantes, para poder determinar las cantidades adecuadas que deben ser aplicadas, a fin de obtener el mayor beneficio económico para el agricultor.

El rendimiento por hectárea de un cultivo aumenta a medida que aumenta el fertilizante, pero después de llegar a una cierta cantidad de fertilizante aplicado los rendimientos decrecen.

Un agricultor debe aplicar fertilizante hasta el punto en el que la última unidad aplicada sea justamente la cantidad suficiente para producir un incremento en la producción que pueda compensar el costo adicional ocasionado por la compra de esta última unidad de fertilizante.

Fertilización potásica

La fijación de potasio ocurre en suelos cuya fracción coloidal mineral está dominada por arcillas tipo 2:1. El enclamiento de suelos ácidos que contienen Illita incrementará rápidamente su capacidad de fijación de amonio y de potasio.

En zonas de alta pluviosidad con suelos de baja CIC se recomienda aplicar el potasio fraccionado, para evitar pérdidas por lixiviación.

Fertilización fosfórica

La fijación de fosfatos, particularmente en suelos ácidos como Oxisoles, Ultisoles y en suelos alofánicos (Andisoles y Andepts), es un proceso sumamente intenso que disminuye acentuadamente la eficiencia de la fertilización fosfatada, particularmente cuando se utilizan fertilizantes fosfatados de alta solubilidad, en cuyo caso la fijación puede llegar a ser de

90%, por lo que su eficiencia será de tan sólo 10%.

El costo unitario relativamente alto de los fertilizantes fosfatados exige que se desarrollen tecnologías para hacer un uso más eficiente del fósforo aplicado. Entre las estrategias que pueden seguirse están:

- Determinar la combinación más apropiada de métodos y dosis de aplicación.
- Uso de fuentes de fósforo menos costosas, tales como la roca fosfórica.
- Uso de cantidades moderadas de cal para aumentar la disponibilidad de fuentes solubles de fósforo.
- Selección de variedades que puedan crecer bien en condiciones de escasez de fósforo.

Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes en el cultivo de frijol. Ejemplo

Siempre el mejor criterio para formular una recomendación sobre el uso de fertilizantes, es el que se basa en una experimentación bien diseñada, bien conducida y bien analizada, tanto desde el punto de vista estadístico como económico. El criterio que a continuación se presenta es una aproximación de carácter práctico que se sigue en Centro América.

El cálculo de la dosis recomendable de fertilizante debe hacerse con base en: la cuantificación aproximada de la disponibilidad del nutrimento, el requerimiento nutricional del cultivo, el potencial de producción del cultivo, la eficiencia de la fertilización, el costo y la rentabilidad.

Para la cuantificación aproximada del requerimiento nutricional del cultivo se puede hacer uso de los valores de extracción de nutrimentos para las diferentes variedades

cultivadas. Por lo tanto, cuando se trate de recomendar fertilizantes para un cultivo que por razones genéticas, tecnológicas, edáficas, climáticas o socio-económicas no tenga un alto potencial productivo, el requerimiento deberá ponderarse según el potencial de producción que se estime puede alcanzar el cultivo.

Ejemplo: ¿Cuál será el requerimiento nutricional de nitrógeno para la variedad de frijol porrillo sintético si el rendimiento esperado es de 2.5 t/ha, y si esta variedad tiene un requerimiento de 72 kg N/ha para producir 1 tonelada de grano?

Entonces:

$$\begin{array}{rcl} 72 \text{ kg N/ha} & \text{---} & 1 \text{ t frijol/ha} \\ X & & 2.5 \text{ t frijol/ha} \\ \\ X = \frac{72 \times 2.5}{1} = & & 180 \text{ kg N/ha se requieren} \\ & & \text{para producir 2.5 ton de} \\ & & \text{frijol porrillo sintético/ha} \end{array}$$

Cuando se conocen los requerimientos nutricionales de la variedad para producir determinado rendimiento, es necesario contar con los resultados del análisis del suelo donde se va a sembrar la variedad, para hacer la interpretación de estos resultados de acuerdo con tablas y criterios discutidos anteriormente y luego llegar al objetivo final, la recomendación.

Siguiendo con el ejemplo anterior, tenemos los siguientes cálculos de necesidades de fertilización:

Se trata de recomendar el uso de un fertilizante a un agricultor considerado como mediano, desde el punto de vista de su nivel tecnológico. El cultivo proyectado es frijol Talamanca, del cual sembrará 3 ha. Su finca se encuentra localizada en una zona de alta precipitación. Los resultados del análisis químico del suelo se encuentran en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Resultados de análisis químicos del suelo

Determinaciones	Metodologías	Resultados
Textura	Bouyucos	Franco Arenoso
pH (agua)	En agua 1:2.5	5.6
M.O. (%)	Walkley and Black modificado	2.0
N (ppm)	Kjeldahl	10.0
P (ppm)	Olsen modificado	2.0
K (meq/100 g)	Olsen modificado	0.2
Ca (meq/100 g)	KCL 1N	2.0
Mg (meq/100 g)	KCL 1N	1.0
Al (meq/100 g)	KCL 1N	1.0
CIC (meq/100 g)	Acetato de Amonio pH 7.0	10.0
Densidad aparente (g/cc)		0.9

Procedimiento para elaborar la recomendación

- Cuantificar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo. Para ello bastará convertir ppm y meq/100 g a kg/ha utilizando los factores de conversión dados en los cuadros 4.2 y

4.3, para una densidad aparente del suelo de 0.9 g/cc.

$$\begin{array}{rcl} P & = & 2 \times 1.8 = 3.6 \text{ kg P/ha} \\ K & = & 0.2 \times 702 = 140 \text{ kg K/ha} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca} &= 2 \times 360 = 720 \text{ kg Ca/ha} \\ \text{Mg} &= 1 \times 216 = 216 \text{ kg Mg/ha} \end{aligned}$$

- Cuantificación del requerimiento nutricional de la variedad Talamanca para su potencial de producción.

Los requerimientos del frijol Talamanca para 1 t/ha, según Corella (1983)¹, son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{N} &= 76 \text{ kg/ha} \\ \text{P} &= 3.5 \text{ kg/ha} \\ \text{K} &= 59.4 \text{ kg/ha} \\ \text{Ca} &= 16.4 \text{ kg/ha} \\ \text{Mg} &= 8.9 \text{ kg/ha} \end{aligned}$$

Para el caso de este ejemplo un agricultor mediano puede producir 2.0 t/ha de frijol. Por lo tanto, los requerimientos nutricionales ponderados se calcularán en la siguiente forma.

Nitrógeno

$$\begin{aligned} 1 \text{ t/ha} & \quad 76 \text{ kg/ha} \\ 2 \text{ t/ha} & \quad X \\ X &= \frac{2 \times 76}{1} = 152 \text{ kg N/ha} \end{aligned}$$

Fósforo

$$\begin{aligned} 1 \text{ t/ha} & \quad 3.5 \text{ kg/ha} \\ 2 \text{ t/ha} & \quad X \\ X &= \frac{2 \times 3.5}{1} = 7.0 \text{ kg P/ha} \end{aligned}$$

Potasio

$$\begin{aligned} 1 \text{ t/ha} & \quad 59.4 \text{ kg/ha} \\ 2 \text{ t/ha} & \quad X \\ X &= \frac{2 \times 59.4}{1} = 118.8 \text{ kg K/ha} \end{aligned}$$

Calcio

$$\begin{aligned} 1 \text{ t/ha} & \quad 16.4 \text{ kg/ha} \\ 2 \text{ t/ha} & \quad X \\ X &= \frac{2 \times 16.4}{1} = 32.8 \text{ kg Ca/ha} \\ & \quad \approx 33 \text{ kg Ca/ha} \end{aligned}$$

Magnesio

$$\begin{aligned} 1 \text{ t/ha} & \quad 8.9 \text{ kg/ha} \\ 2 \text{ t/ha} & \quad X \\ X &= \frac{2 \times 8.9}{1} = 17.8 \text{ kg Mg/ha} \\ & \quad \approx 18 \text{ kg Mg/ha} \end{aligned}$$

En consecuencia, los requerimientos nutricionales ponderados para el potencial de producción (ppc) serán:

$$\begin{aligned} \text{N} &= 152 \text{ kg/ha} \\ \text{P} &= 7 \text{ kg/ha} \\ \text{K} &= 119 \text{ kg/ha} \\ \text{Ca} &= 33 \text{ kg/ha} \\ \text{Mg} &= 18 \text{ kg/ha} \end{aligned}$$

- Cuantificación de la eficiencia del fertilizante
 - Dadas las condiciones de textura, alta precipitación pluvial, condiciones de pH y drenaje del suelo, se puede suponer que un 40% del N aplicado se puede perder por lixiviación, siempre que se aplique una fuente amoniacal o urea. Por lo tanto, la eficiencia de la fertilización nitrogenada, para este caso, se puede aproximar a 60%.
 - Puesto que la capacidad de fijación de fosfatos se ha estimado en un 80%, la eficiencia de la fertilización fosfatada se estima en 20%.
 - Dado que la CIC del suelo es relativamente baja y las condiciones de alta precipitación de la zona son altas, se puede suponer que la eficiencia de la fertilización potásica se aproxima a 60%.
 - Debido a que para Ca y Mg los valores de disponibilidad en el suelo son mucho más altos que los requerimientos nutricionales del cultivo ponderados para su potencial de producción, no habrá necesidad de fertilizar con estos nutrimentos. También los porcentajes de saturación de los dos nutrimentos son altos.

¹ Corella, F. Información personal.

- Cuantificación de las necesidades de fertilización

Fósforo

- Disponibilidad del nutriente en el suelo: 3.6 kg P/ha
- Requerimiento nutricional de la variedad Talamanca para un rendimiento de 2 t/ha 7.0 kg P/ha
Como la disponibilidad de P en el suelo es menor que el requerimiento de la variedad, se necesita aplicar fósforo:
 $7.0 \text{ kg} - 3.6 \text{ kg} = 3.4 \text{ kg P/ha}$

Si el suelo es un Oxisol, la eficiencia del fertilizante fosfórico es de un 20%. Por lo tanto, para lograr 3.4 kg P/ha se necesitan:

$$\frac{3.4 \times 100}{20} = 17 \text{ kg de P/ha}$$

El paso siguiente es pasar estos 17 kg de P a kg de P_2O_5 de una fuente de un fertilizante fosfórico.

Potasio

- Disponibilidad del nutriente en el suelo: 140 kg K/ha
- Requerimiento nutricional de la variedad Talamanca para un rendimiento de 2 t/ha... 118.8 kg K/ha

Como la disponibilidad del nutriente en el suelo es mayor que el requerimiento, no se necesita fertilizar con potasio.

Nitrógeno

En el caso del nitrógeno la dosis se determina experimentalmente dado que este elemento presenta una dinámica muy compleja en el suelo. Está sometido constantemente a una diversidad de reacciones que, unidas a la gran movilidad que tiene en el suelo, hacen muy difícil y poco preciso tomar como referencia su contenido en el suelo para formular recomendaciones.

- Recomendación de la fuente de un fertilizante

El grado del fertilizante se expresa en términos de porcentaje de N, P_2O_5 y K_2O , por lo tanto, antes de escoger la fórmula es necesario convertir las necesidades de fertilización fosfórica y potásica que están expresadas en términos de P y K, a equivalentes de P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Los factores de conversión son:

$$\text{Para P: } P \times 2.29 = P_2O_5$$

$$\text{Para K: } K \times 1.20 = K_2O$$

En el caso del ejemplo, se habían calculado 17 kg de P/ha. En términos de P_2O_5 estos 17 kg quedan como:

$$17 \text{ kg P/ha} \times 2.29 = 38.9 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$$

Se necesita pasar estos 38.9 kg de P_2O_5 /ha a kg de una fuente.

La fuente de un fertilizante para utilizar está determinada por la disponibilidad de la misma en cada región o país. Si se dispone de superfosfato triple (SFT) con 46% de P_2O_5 , los cálculos se harán así:

$$46 \text{ kg de } P_2O_5 \text{ en } 100 \text{ kg de SFT}$$

$$38.9 \text{ kg de } P_2O_5 \quad \times$$

entonces:

$$\frac{38.9 \times 100}{46} = 84 \text{ kg de SFT}$$

La recomendación final será: se necesita aplicar 84 kg por ha de superfosfato triple.

Fertilización foliar

La fertilización foliar consiste en la aplicación de fertilizantes en solución directamente al follaje de las plantas. Es usada principalmente para corregir deficiencias de micronutrientes. También como fertilización complementaria a la fertilización edáfica, especialmente a la fertilización nitrogenada.

En el Cuadro 30 se presenta un resumen de las recomendaciones para el abono foliar de un cultivo de frijol semi mecanizado en Centroamérica.

presentan en suelos ácidos cuyo pH es menor que 5.5. Adicionalmente, se pretende disminuir la toxicidad del Al y del Mn, elevar el pH, aumentar la disponibilidad del P, mejorar el suministro de Ca y Mg, mejorar las condiciones de N en el suelo y, en consecuencia, mejorar la adaptabilidad y los rendimientos de algunas especies y variedades.

Encalamiento de los suelos

El propósito principal del encalado es la neutralización de los iones Al^{3+} y H^+ que se

Cuadro 30. Recomendaciones para el abono foliar en un cultivo de frijol semimecanizado

Tipos de suelo	Pendiente (%)	Abono foliar	
Aluvial bien y moderadamente drenado (Udolls, Ustults, Tropepts) Coluvio - aluvial (Tropepts) 0 - 30	3 - 10	3 kg urea/200 l H_2O	Sequía prolongada Aplicación urea 1% Máximo 3 aplicaciones
Volcánicos (Andepts)	3 - 15 30 - 80	3 kg urea/200 l H_2O	Sequía prolongada Aplicación urea 1% Máximo 3 aplicaciones
Volcánico a partir de Tobas (Tropets)	3 - 15	2 l/ha de Quelatos y/o Metalozatos suelo) Urea 1%	30 - 40 D.D.S. 2 kg/100 l H_2O de Urea (si no aplica)
Coluvio aluvial antiguo (Ustalfs)	3 - 15	24 kg urea/200 l H_2O	Sequía prolongada aplicación urea al 1% Máximo 3 aplicaciones
Residual (Ustults - humults)	3 - 15	Quelatos o Metalozatos + Urea	30 - 40 D.D.S. 20 kg/100 l de H_2O (si no aplica suelo) urea 2%

Respecto a la cantidad de cal agrícola requerida (t/ha) para neutralizar el aluminio, se pueden utilizar las siguientes fórmulas propuestas por Sánchez y Salinas (1983):

$$1. \text{Toneladas cal/ha} = \text{meq Al/100 g} \times 1.65, \text{ si el \% de M.O. es } < 7.0$$

$$2. \text{Toneladas cal/ha} = \text{meq Al/100 g} \times 2.3, \text{ si el \% de M.O. es } > 7.0$$

donde: meq Al/100 g = Al intercambiable extraído con KCl, 1N.

Ejemplo: para un suelo que tiene un pH de 4.8, 6.5% de materia orgánica y 2.5 meq

Al/100 de suelo, la cantidad de cal para aplicar sería la siguiente:

$t \text{ cal/ha} = 2.5 \times 1.65 = 4.1 \text{ t cal/ha}$. Se usa el factor 1.65 porque $MO < 7.0\%$

La aplicación de la cal en el suelo se debe hacer en forma homogénea, incorporándola al menos con un mes de anticipación a la fecha de siembra, para que la cal tenga el tiempo suficiente de reaccionar en el suelo y realizar la neutralización del aluminio.

El material ideal para hacer el encalamiento es el carbonato de calcio o cal agrícola : el 100% debe de pasar por un tamiz No. 10 y el 50% por un tamiz No. 100. Las fuentes de CaCO_3 de mayor tamaño reaccionan lentamente y por lo tanto rara vez producen la respuesta esperada en el rendimiento del primer cultivo.

En el caso de Oxisoles y Ultisoles, donde el Mg es un elemento particularmente limitativo, es preferible utilizar las fuentes de cal dolomítica ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$). La relación Ca:Mg de 10:1 en el material de encalamiento es generalmente considerada adecuada.

En general, en suelos con mayor contenido de M.O. se presentan efectos residuales de la cal más cortos que en suelos de menor contenido, debido a la liberación más rápida del aluminio de los complejos de la materia orgánica.

El énfasis tradicional en la fertilización con NPK ha distraído la atención de las deficiencias de calcio y magnesio en las regiones de Oxisoles - Ultisoles. Los principales factores que afectan la disponibilidad de calcio y magnesio en Oxisoles y Ultisoles incluyen el nivel de estos nutrientes en la forma intercambiable, la baja capacidad efectiva de intercambio catiónico (CEIC), los niveles altos de aluminio intercambiable, la textura del suelo y la mineralogía de las arcillas (Kamprath y Fox, 1971).

La baja CEIC de la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles proporciona algunas ventajas y desventajas para el suministro de calcio y magnesio. Una de las desventajas es la rápida lixiviación durante períodos de lluvia intensa.

Una ventaja de los Oxisoles y Ultisoles debido a la predominancia en ellos de arcillas 1:1 (caolinitas) es que requieren menor nivel de saturación de bases para una disponibilidad adecuada de Ca y Mg para las plantas que los suelos dominados por arcillas 2:1 (Ejemplo: montmorillonita).

Movimiento descendente del calcio y del magnesio

El subsuelo de la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles por lo general es ácido y con frecuencia presenta una barrera química para el desarrollo radical, ya sea debido a la toxicidad causada por el aluminio, o a una deficiencia de calcio, o a ambas causas.

Una ventaja primordial de muchos suelos ácidos e infértiles es que sus propiedades físicas y químicas permiten el movimiento descendente del calcio y del magnesio hacia las capas del subsuelo, disminuyendo de esta manera las limitaciones causadas por la acidez del suelo a mayor profundidad, lo cual facilita un mayor desarrollo radical.

Una forma de facilitar la penetración del sistema radical al subsuelo es la aplicación profunda de cal en los Oxisoles. De esta forma las plantas podrán aprovechar las reservas de agua almacenada en el subsuelo en períodos de sequía y también absorber nutrientes de un mayor volumen de suelo.

Integración con otros factores de producción

Es importante tener presente que el encalado y la aplicación de fertilizantes interactúan con otros factores de la producción. Por ejemplo, existen importantes interacciones entre la

fertilización y la irrigación; también existe el comportamiento diferencial de genotipos ante excesos o deficiencias de nutrimentos. Por lo tanto, debe buscarse un manejo integrado de la fertilización, la irrigación, el uso de variedades mejoradas, el manejo de malezas, insectos, enfermedades, etc.

Resumen de la Secuencia

Los nutrimentos son elementos o compuestos inorgánicos que la planta necesita para su desarrollo. Se dividen en tres grupos: macronutrimentos, nutrimentos secundarios y micronutrimentos; son absorbidos por las raíces, y algunos, en pocas cantidades, se pueden absorber por el follaje. La disponibilidad de estos nutrimentos depende del tipo de suelo, origen, formación y de la presencia de agua. Normalmente en suelos dedicados al cultivo de frijol en Centroamérica la cantidad de nutrimentos es más baja que los requerimientos del frijol para una buena

producción. Por esta razón, los nutrimentos adicionales a través de la fertilización, son necesarios.

Los requerimientos nutricionales indican la cantidad de nutrimentos que la planta necesita para completar su desarrollo. Esta cantidad de nutrimentos debe ser suministrada por el suelo, o por el suelo y los fertilizantes.

Cada nutrimento tiene formas químicas particulares de absorción, algunas catiónicas (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y Fe) y otras aniónicas (N, P, S, B, Mo, Cl). Es importante favorecer la presencia de dichas formas en el suelo para propiciar una buena absorción. El N es el único elemento que se puede absorber tanto en forma aniónica como catiónica. Es importante tener presente que la aplicación de fertilizantes por sí sola no es la solución a los problemas de producción; para obtener resultados positivos es necesario integrar otros factores como: uso de semilla mejorada, control de malezas, control de plagas y enfermedades, disponibilidad de agua, etc.

Anexos 1. Formulario para solicitud de análisis de suelos

Fecha de toma de las muestras: _____ Fecha de recibo en el Laboratorio de Suelos _____

Nombre del Agricultor _____ Ubicación de la Finca _____ Municipio _____ Departamento _____ Población más cercana _____

Dirección donde se enviarán los resultados: _____ Si desea enviar copias de los resultados a alguien, anote la dirección aquí: _____

MUESTRA			DESCRIPCION DEL SUELO											
No. de Lote	Muestras No.	Extensión (Mzs.)	TOPOGRAFIA				EROSION				DRENAJE			
			Plano	Inclinado	Quebrado	Depresión	Ligera	Moderada	Fuerte	No presentada	Bueno	Regular	Malo	

Si el crecimiento de las plantas es defectuoso, describa las anomalías:

No. de lote	Cultivo anterior	Año	Rendimiento qq/manzana	Abono usado cantidad y clase	Apariencia del cultivo problema específico	Cultivo para sembrar

Marque con una X las prácticas que llevará a cabo:

- ¿Semilla Mejorada? _____
- ¿Insecticidas? _____
- ¿Riego? _____
- ¿Control de Malezas? _____
- ¿Maquinaria? _____
- ¿Cómo aplica los abonos? _____
- ¿A mano? _____
- ¿Con maquinaria? _____
- ¿Al voleo? _____
- ¿En hilera? _____

USE EL REVERSO PARA HACER SU MAPA

NOTA: El Análisis de suelo NO identifica las enfermedades que pueda tener el cultivo. Consulte con el Agente de Extensión más cercano de la Secretaría de Recursos Naturales, respecto a los problemas de insectos y enfermedades. Debe hacer un mapa o croquis del terreno muestreado; los números de las muestras y lotes que aparecen en el croquis, deben corresponder con los que aparecen en las muestras.

Anexo 2. Solicitud para análisis de suelos (ICA, Colombia)

ICA Suelos	SOLICITUD PARA ANALISIS DE SUELOS					No.
						Regional
Nombre del Solicitante		Dirección		Lugar		
Municipio		Vereda		Finca		
Oficina receptora		Lugar		Fecha		
LA INFORMACION DE CINCO MUESTRAS PUEDE COLOCARSE AQUI						
Detalle	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Profundidad a la cual se tomó la muestra						
Superficie aproximada del lote						
Altura sobre el nivel del mar						
Cultivo para el cual quiere la recomendación						
Drenaje (bueno, regular, pobre)						
Topografía (plana, ondulada, pendiente)						
Cal agregada t/ha Ultimo año ____ Año ____						
¿Va a aplicar riego?						
Ultimo cultivo o cultivo actual 1.9__						
Rendimiento última cosecha (bueno, regular, malo)						
Fertilizantes agregados al último cultivo	kg/ha	Grado	kg/ha	Grado	kg/ha	Grado
Penúltimo cultivo 1.9__						
Rendimiento penúltima cosecha (bueno, regular, malo)						
Fertilizantes agregados al penúltimo cultivo	kg/ha	Grado	kg/ha	Grado	kg/ha	Grado
Tipo de análisis	No. de muestras		Valor unitario		Valor total	
Fertilidad						
Salinidad						
+ Determinación textura bouyucos						
Completo						
+ Determinación textura bouyucos						
Elementos menores						
TOTAL A PAGAR \$ _____						
SALDO CANCELADO SEGUN RECIBO DE CAJA No. _____ \$ _____						
RECEPTOR SOLICITUD				RESPONSABLE RECAUDO		
IMPORTANTE: <ol style="list-style-type: none"> 1. Presente las muestras por lo menos un mes antes de la siembra. 2. Diligencie esta solicitud y preséntela con las muestras a la Of. del ICA más cercana 						

Anexo 3. Aproximación de niveles críticos para análisis de suelos en frijol

Determinaciones	Métodos	Niveles críticos	
		Deficiencias	Toxicidades
Saturación Al	$\frac{\text{Al}}{\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}} \times 100$		10% ⁴ 50% ⁵
P	Bray I Bray II Olsen-EDTA Carolina Norte (Melich 1)	11 ppm 15 ppm 14 ppm 13 ppm	
K	Acetato de Amonio, 1N	0.15 meq/100 g	
Mg	Acetato de Amonio, 1N	2.0 meq/100 g	
Ca	Acetato de Amonio, 1N	4.5 meq/100 g	
Conductividad	Extracto de Saturación		0.08 d S/m 0.8 mmhos/cm
Saturación Na	Acetato de Amonio, 1N		4%
B	Agua caliente	0.4 - 0.6 ppm	
Zn	Carolina del Norte (doble ácido)	0.8 ppm	
Mn	Carolina del Norte (doble ácido)	5 ppm	
Cu	0.5 M-EDTA	0.6 ppm	
Fe	Acetato de Amonio	2.0 ppm	
pH	Suelo/Agua 1:1	rango 5 - 7.8 óptimo 5.5 - 6.5	

Flor, 1989

- ⁴ Suelo mineral
⁵ Suelo orgánico

Anexo 4. Informe de análisis de suelos Ministerio de Agricultura y Ganadería Laboratorio de suelos

FECHA RECIBO:
NOMBRE:

FECHA: _____
REP: _____

IDENTIFICACION		RESULTADOS										CULTIVO	
No. Laboratorio	No. Campo	meq/100 ml SUELO					µG/ml SUELO						
		pH	Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Fe		

**Anexo 5. Exportación de nutrimentos en las semillas, kg/ha,
por cada mil kilogramos de semilla**

Autores	N	P	K	S	Ca	Mg
Malavolta, 1976 (vainas)	37	4	22	10	4	4
Fernández y Ceballos, 1976 (Porrillo Sintético hábito II)	40	7	17	-	-	-
Fernández y Ceballos, 1976 (Guali, hábito I)	35	5	15	-	-	-
Fernández y Ceballos, 1976 (Puebla I52, hábito III)	33	5	16	-	-	-
Fernández y Ceballos, 1976 (P 589, hábito IV)	36	6	16	-	-	-
Sánchez, 1981	31	3.5	6	-	-	-
Promedios de nutrimentos exportados	35.3	5.01	5.3	10	4	4

Anexo 6. Bibliografía

- AGRONOMIC ECONOMIC RESEARCH ON TROPICAL SOILS. 1974. Annual Report for 1973. Soil science department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. 190 p.
- AGRONOMIC ECONOMIC RESEARCH ON TROPICAL SOILS. 1975. Annual Report for 1974. Soil science department, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina. 190 p.
- BRADY, N.C. and BUCKMAN, H.O. 1969. The nature and properties of soils. 7th ed. re., New York, Macmillan publishing C.O., INC. 653 p.
- FASSBENDER, H.M. 1975. Química de suelos con énfasis en América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 398 p.
- FLOR, C.A. 1985. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En: López, M.; Fernández, F.; Schoonhoven, A. van, eds. Frijol: Investigación y producción. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 287-312.
- FLOR, C.A., M. THUNG. 1989. Nutritional disorders. En: Schwartz, H.F., Pastor-Corrales M.A. Problemas de producción de frijol en el trópico. 2a. ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. pp 571-604.
- FLOR, C.A. 1985. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En: "Frijol: investigación y producción". PNUD - CIAT. 287-313 p.
- FLOR, C.A. 1985. El diagnóstico de problemas en frijol. En: "Frijol: investigación y producción". PNUD - CIAT. 385 P.
- FLOR, C.A. 1985. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En: "Frijol: Investigación y producción". PNUD-CIAT. 287-313 p.
- GARAVITO, F. 1979. Propiedades químicas de los suelos. 2a. ed. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 321 p.
- GUERRERO, R., R. 1984. El Diagnóstico Químico de la Fertilidad del Suelo. En: Silva M., F. (ed). Fertilidad de Suelos; Diagnóstico y Control. 2a. ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá (Colombia). 41-199. pp.
- GUERRERO, R., R. 1984. La recomendación de Fertilizantes. Fundamentos y Aplicaciones. En: Silva M., F. (ed). Fertilidad de suelos; Diagnóstico y Control. 2a. ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá (Colombia). pp: 225-267.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1980. El análisis de suelos y las recomendaciones de cal y fertilizantes para diversos cultivos. Cuarta aproximación. Bogotá, Colombia
- MARIN, G., G. ORTIZ, R. LORA, E. OWEN, 1975. El análisis de suelos y las recomendaciones de fertilizantes y cal. ICA. Bogotá, Colombia. Bol. Téc. No. 34.

RAIJ, BV. 1981. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba. Instituto da potassa e fosfato. 142 p.

SANCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 634 p.

TISDALE, S.L., W.L. NELSON. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizante. Balasch, J. (Trad.) 5a. Ed. Barcelona, España.

Anexo 7. Copia de las transparencias del instructor

ADF-A Flujograma para el estudio de esta Unidad

ADF-B Objetivo terminal

Secuencia 1

ADF-1 Flujograma Secuencia 1

ADF-2 Formas de determinar el volumen de un recipiente cilíndrico

ADF-3 Peso en kg de 1 ha de suelo, a una profundidad de 0-20 cm y con diferentes densidades aparentes

ADF-4 Peso en kg de 1 ha de diferentes clases de suelos a una profundidad de 0-20 cm

Secuencia 2

ADF-5 Flujograma Secuencia 2

ADF-6 Selección de puntos de muestreo

ADF-7 Número de submuestras simples por área de muestreo

ADF-8 Delimitación de las áreas de muestreo en una finca o campo de cultivo

ADF-9 Uso del barreno, hueco para uso de pala, uso de pala y porción o tajada de suelo con espesor de 2-3 cm

ADF-10 Características de la submuestra.

Secuencia 3

ADF-11 Flujograma Secuencia 3

ADF-12 Clasificación y características de los suelos de acuerdo con los niveles de pH

ADF-13 Criterios para considerar el Al como problema

ADF-14 Clasificación de los suelos minerales según su contenido de materia orgánica

ADF-15 Niveles críticos de P en el suelo según la metodología de extracción utilizada

ADF-16 Clasificación de suelos de acuerdo con el contenido de K intercambiable
(meq/100 g)

ADF-17 Tabla para interpretación de los valores de la capacidad de intercambio catiónico del suelo

ADF-18 Capacidad de intercambio catiónico según la textura del suelo

ADF-19 Tabla para la interpretación del porcentaje de saturación de bases en el suelo

$$\frac{(Ca^{++} + Mg^{++} + K^{++})}{CIC} \times 100$$

ADF-20 Clasificación del suelo de acuerdo con la cantidad de calcio extraído con KCl 1.0 N

ADF-21 Tabla para la interpretación de la relación Mg/K en el suelo. Tablas para interpretación de los niveles de magnesio en el suelo en meq/100 g (Olsen modificado)

ADF-22 Niveles críticos de elementos menores para el cultivo del frijol

ADF-23 Metodologías más utilizadas en América Central para hacer análisis de suelos

Secuencia 4

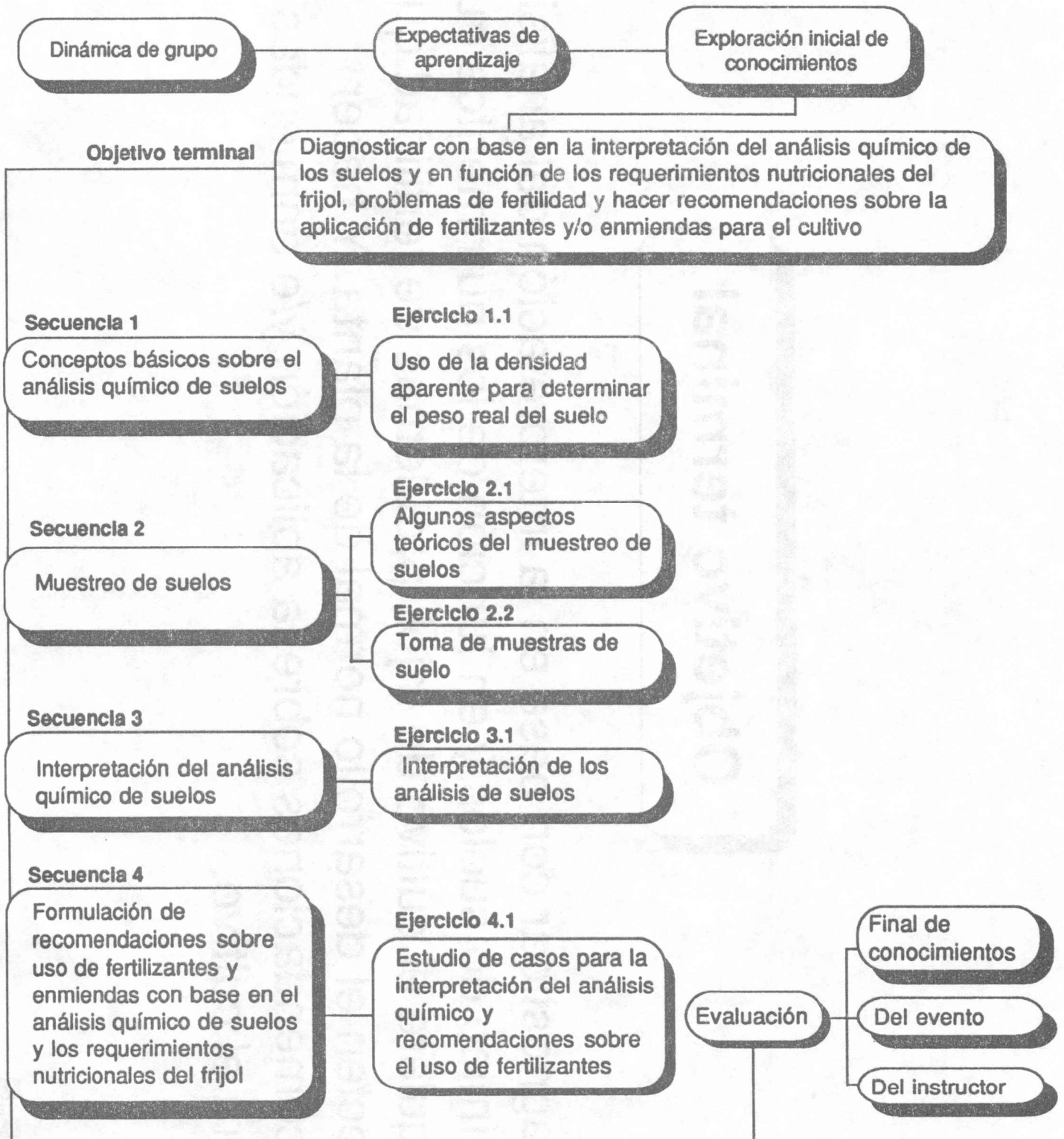
ADF-24 Flujograma Secuencia 4

ADF-25 Formas como el frijol absorbe los diferentes nutrimentos del suelo

ADF-26 Factores de conversión de ppm a kg/ha y a una profundidad de 0-20 cm, para suelos con diferentes valores de densidad aparente

- ADF-27 Factores de conversión de meq/100 g a una profundidad de 0-20 cm
- ADF-28 Ecuación de Fried y Broeshard
- ADF-29 Factores de conversión de la notación en forma de óxidos a la notación elemental
- ADF-30 Recomendaciones para el abono foliar en un cultivo de frijol semimecanizado
- ADF-31 Resultados de análisis químico del suelo

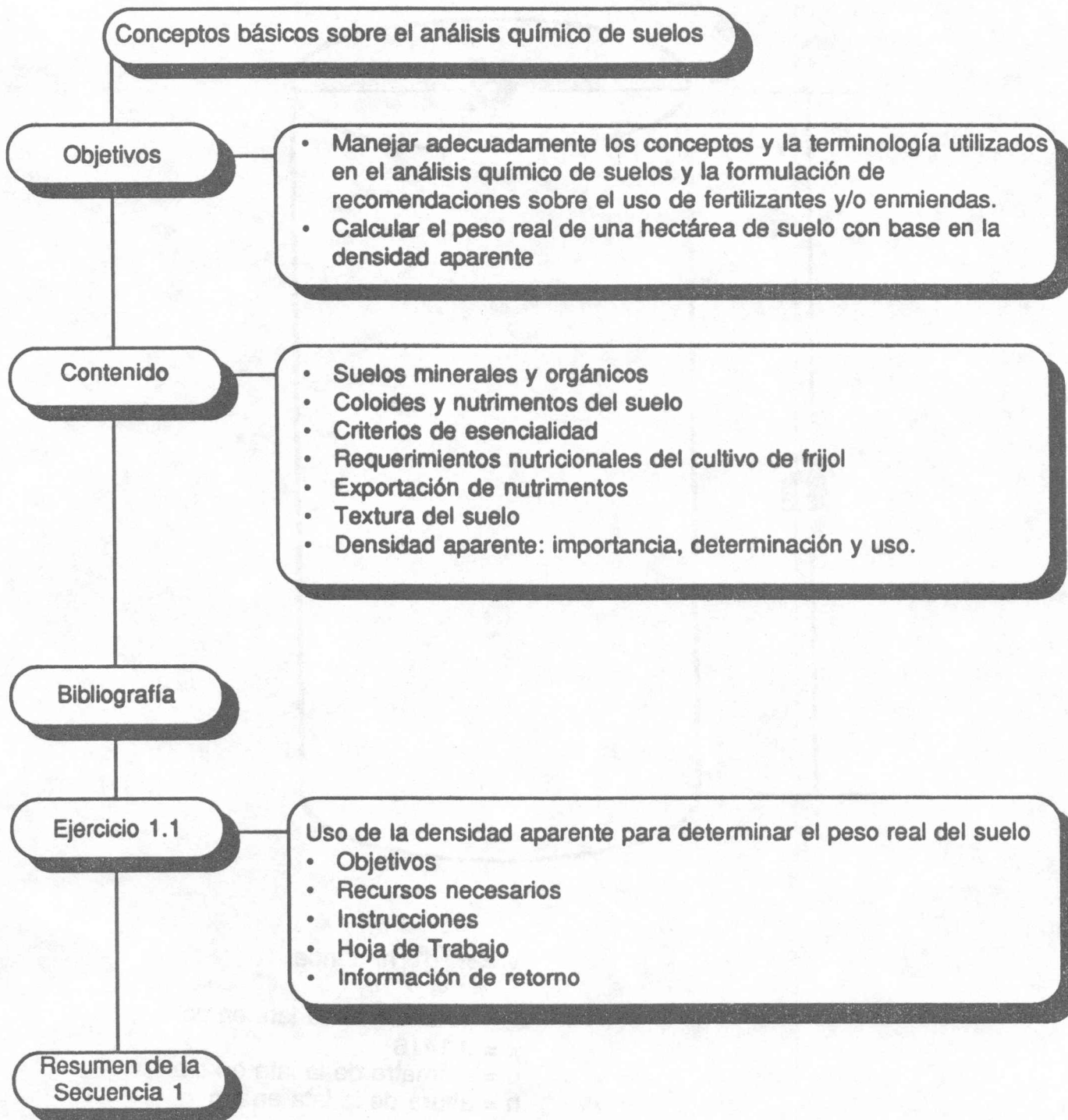
Flujograma para el estudio de esta Unidad



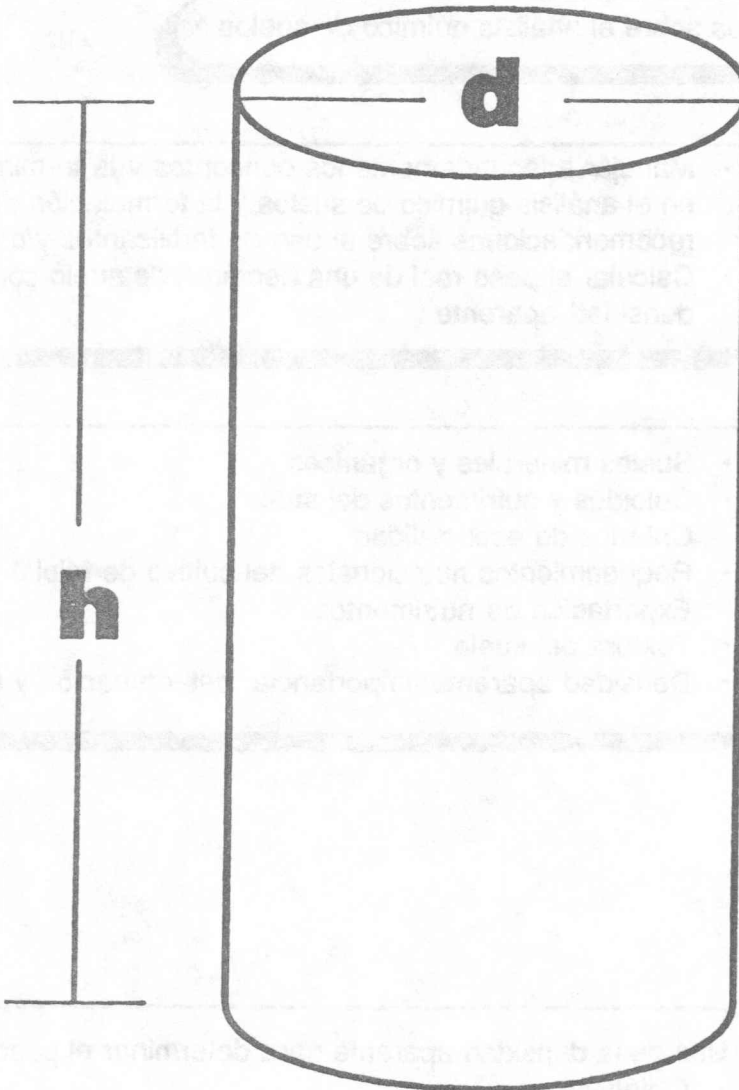
Objetivo terminal

Diagnosticar con base en la interpretación del análisis químico de suelos y en función de los nutrimentos que requiere el cultivo de frijol, problemas de fertilidad que afecten el desarrollo normal de la planta. Y hacer recomendaciones sobre la aplicación y/o enmiendas para el cultivo.

Flujograma Secuencia 1



Formas de determinar el volumen de un recipiente cilindrico



$$V = \pi \left(\frac{d^2}{4} \right) h, \text{ donde:}$$

V = volumen de la lata en cc

$\pi = 3.1416$

d = diámetro de la lata en cm

h = altura de la lata en cm

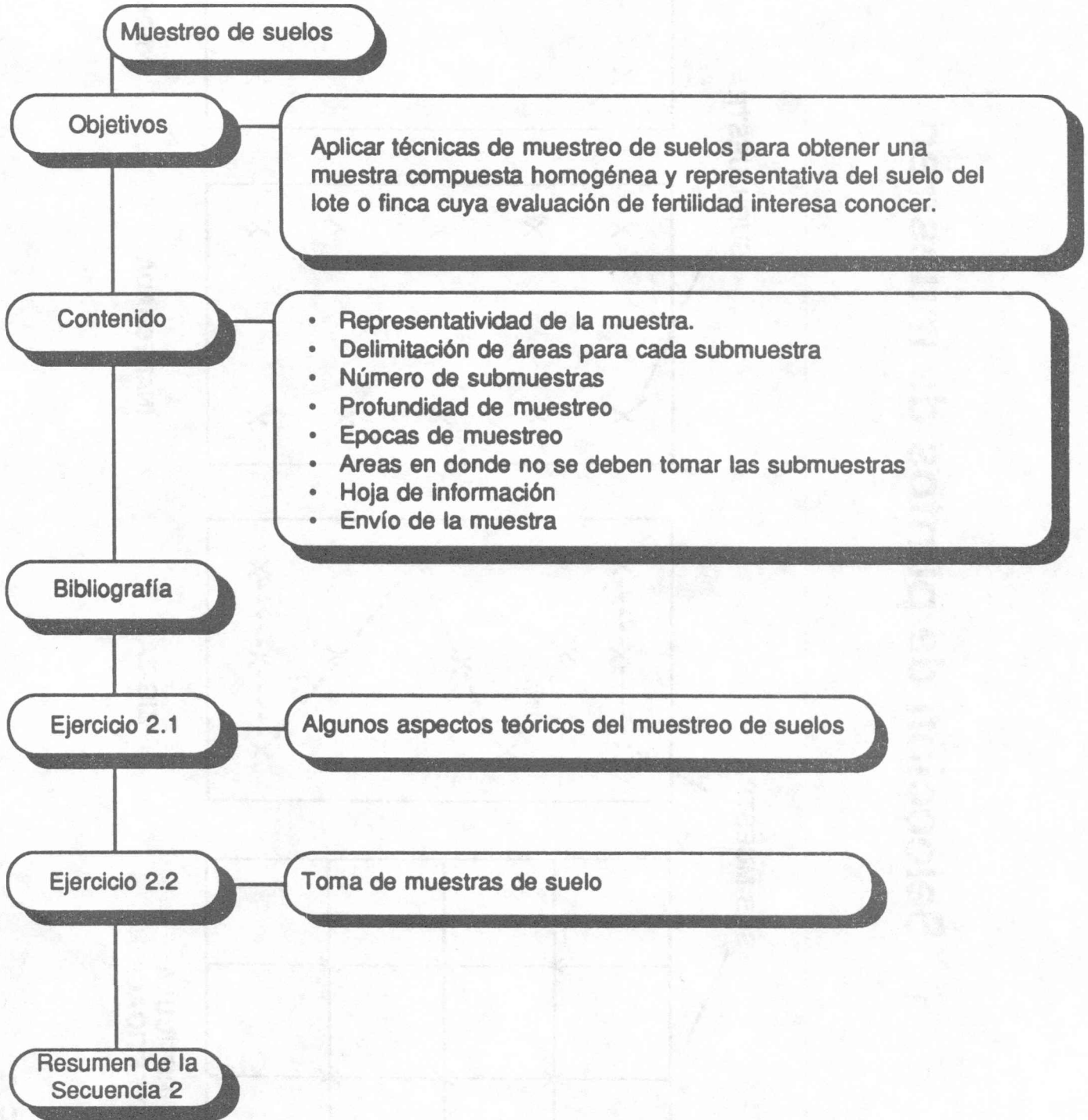
Peso en kg de 1 ha de suelo, a una profundidad de 0-20 cm y con diferentes densidades aparentes

Densidad aparente (g/cc)	Peso (kg/ha)
0.5	1,000.000
0.6	1,200.000
0.7	1,400.000
0.8	1,600.000
0.9	1,800.000
1.0	2,000.000
1.1	2,200.000
1.2	2,400.000
1.3	2,600.000
1.4	2,800.000
1.5	3,000.000
1.6	3,200.000
1.7	3,400.000
1.8	3,600.000
1.9	3,800.000
2.0	4,000.000

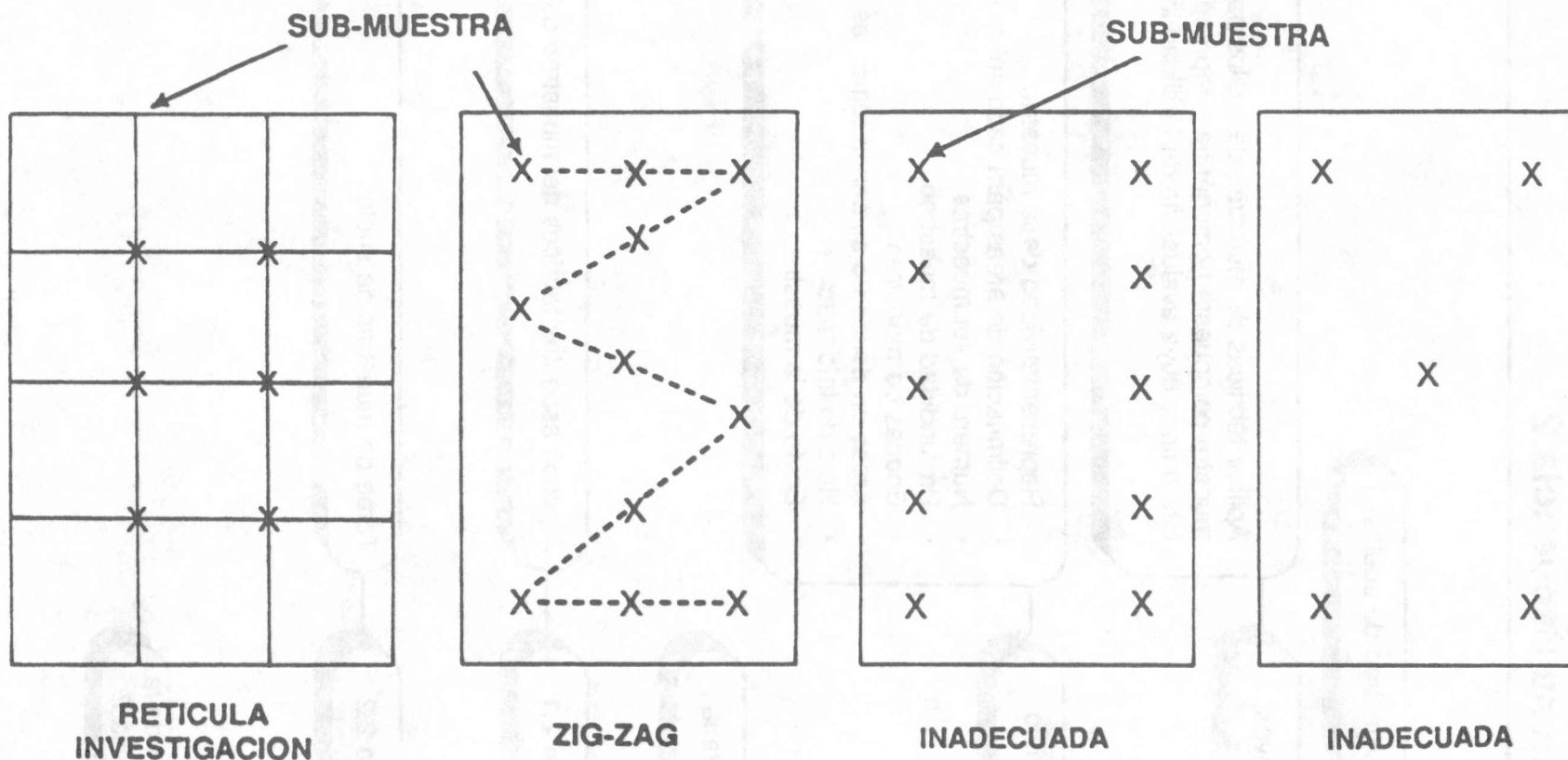
Peso en kg de una hectárea de diferentes clases de suelo a una profundidad de 0-20 cm

Densidad aparente g/cc	Tipo de suelo	Peso suelo kg/ha
1.6	Arenoso	3.200.000
1.4	Arcilloso	2.900.000
1.3	Limoso	2.600.000
0.3	Orgánico	600.000

Flujograma Secuencia 2



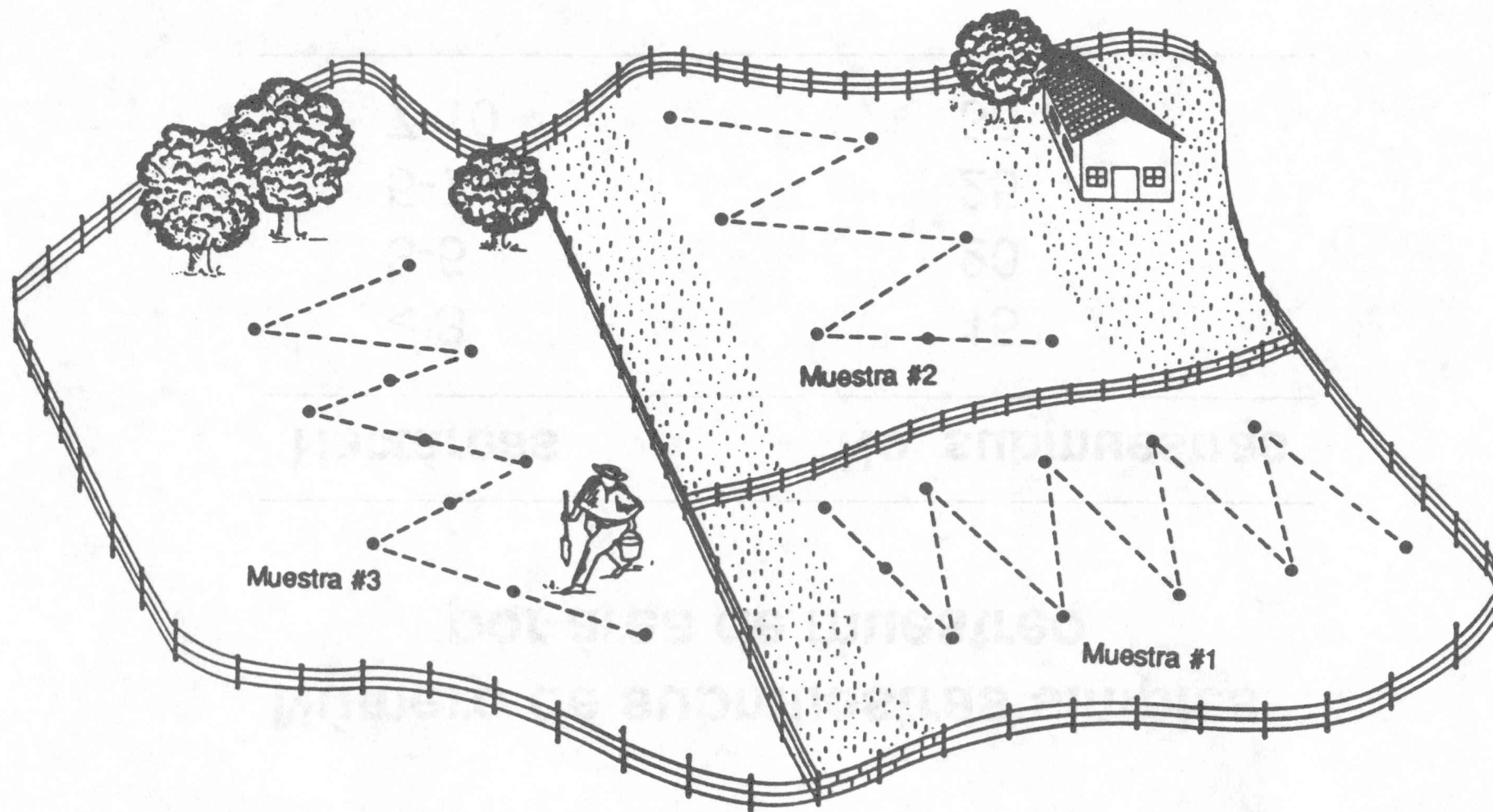
Selección de puntos de muestreo

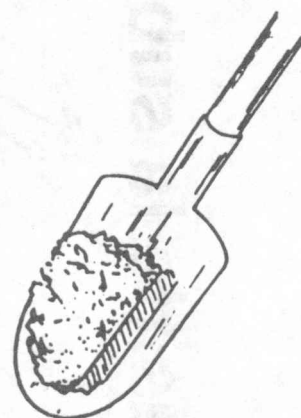
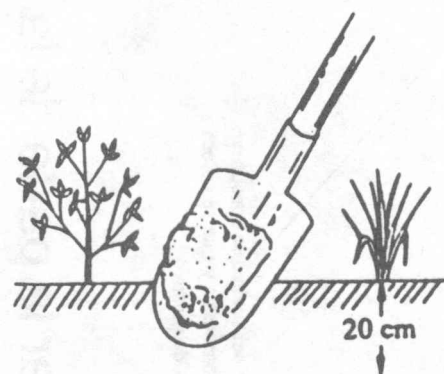
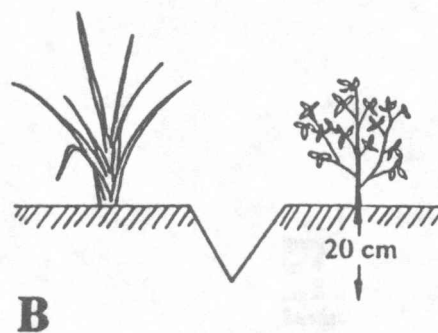
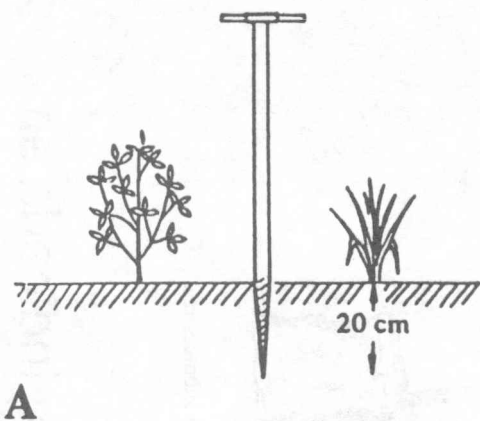


Número de submuestras simples por área de muestreo

Hectáreas	No. submuestras
< 3	15
3-5	20
5-7	25
7-10	30

Delimitación de las áreas de muestreo

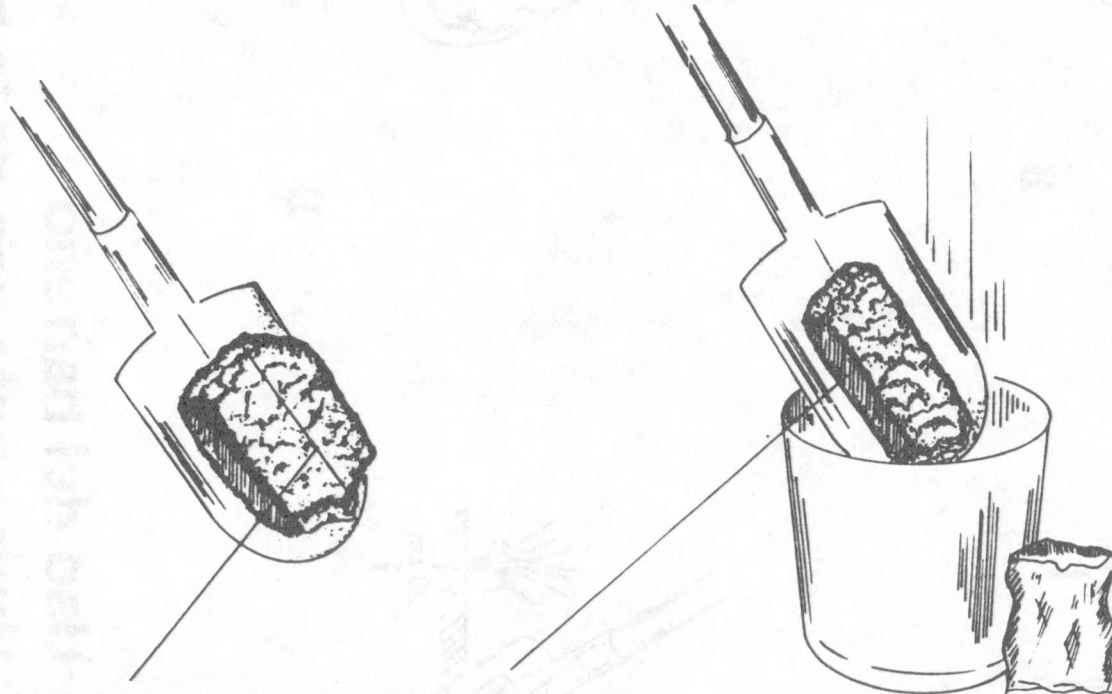




- A. Uso del barreno**
- B. Huevo para uso de la pala**
- C. Uso de la pala**
- D. Porción o tajada de suelo con espesor de 2-3 cm**

ADF-9

Características de la submuestra



Parte de la submuestra que se elimina con un cuchillo.

Parte del suelo que constituye la submuestra y que se coloca en balde plástico.

Balde para recoger las submuestras.

(Es recomendable eliminar la parte de la submuestra indicada en la figura)

ADF-10

Flujograma Secuencia 3

Interpretación del análisis químico de suelos

Objetivos

Evaluar mediante la interpretación de los resultados del análisis químico del suelo y de las tablas de niveles críticos, el estado de fertilidad de un suelo para el cultivo del frijol, diagnosticando desórdenes nutricionales como deficiencias, toxicidades o combinaciones de éstas.

Contenido

- Fundamentos del análisis químico de suelos
- Interpretación de resultados del análisis químico de suelos

Bibliografía

Ejercicio 3.1

- Interpretación de los análisis de suelos
- Objetivos
 - Recursos necesarios
 - Instrucciones
 - Hoja de Trabajo
 - Información de retorno

Resumen de la Secuencia 3

Clasificación y características de los suelos de acuerdo con los niveles de pH

Clasificación	Niveles	Características
Muy ácidos	< 5.5	Se pueden presentar toxicidades causadas por Al, Fe, Mn y deficiencias de P, Ca, Mg, Mo y N. Es necesario encalar
Medianamente ácidos	5.5 - 5.9	Baja solubilidad del P y regular disponibilidad del Ca y Mg. Algunos cultivos requieren encalamiento
Ligeramente ácidos	6.0 - 6.5	Es la condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos
Neutros	6.6 - 7.3	Buena disponibilidad de Ca y Mg; moderada disponibilidad de P; baja disponibilidad de micronutrientes excepto de Mo
Alcalinos	7.4 - 8.0	Posibles excesos de Ca, Mg y carbonatos. Baja solubilidad del P y micronutrientes con excepción del Mo. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas
Muy alcalinos	> 8.0	Posible exceso de Na. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos

Criterios para considerar el Al como problema

Criterios	Niveles (meq/100 g sde suelo)
Contenido de Al	≥ 1
Relación $\frac{Ca + Mg + K}{Al}$	≤ 1
% de saturación de Al	≥ 10 si el suelo es mineral ≥ 50 % si el suelo es orgánico

Clasificación de los suelos minerales según su contenido de materia orgánica

Clasificación	Niveles (%)
Bajo	0 - 2
Medio	2.1 - 4
Alto	≥ 4

Niveles críticos de P en el suelo según la metodología de extracción utilizada

Métodos	Niveles críticos
Bray I	11 ppm
Bray II	15 ppm
Olsen - EDTA	14 ppm
Carolina Norte	13 ppm

Clasificación de suelos de acuerdo con el contenido de K intercambiable (meq/100 g)

Clasificación	Niveles (meq/100g)	Probabilidad de respuesta
Bajo a deficiente	< 0.02	Alta
Nivel crítico	0.20	
Alto	> 0.40	Baja a nula

Tabla para interpretación de los valores de la capacidad de intercambio catiónico del suelo

Categorías	Rangos (meq/100 g)
Baja	< 10
Media	de 10 - 20
Alta	> 20

Capacidad de intercambio catiónico según la textura del suelo

Texturas	Rangos (meq/100 g)
Pesados (arcillosos)	25 - 50
Medianos (francos y limosos)	10 - 30
Livianos	5 - 15
Suelos orgánicos (mayor del 20% de M.O.)	> 50

**Tabla para la interpretación del porcentaje de saturación
de bases en el suelo $\frac{(Ca^{++} + Mg^{++} + K^{++}) \times 100}{CIC}$**

Clasificación	Niveles (%)
Bajo	0 - 40
Medio	41 - 60
Alto	> 80

Clasificación del suelo de acuerdo con la cantidad de calcio extraído con KCl 1.0N

Clasificación	Niveles (%)
Bajo	0.3
Medio	2.2
Alto	> 4.0

Tabla para la interpretación de la relación Mg/K en el suelo

Clasificación	Niveles (%)
Bajo	0.3
Medio	2.2
Alto	> 4.0

Tabla para la interpretación de los niveles de Mg en el suelo en meq/100g (Olsen modificado)

Clasificación	Niveles (%)
Bajo	0.3
Medio	2.2
Alto	> 4.0

Niveles críticos de elementos menores para el cultivo del frijol

Elemento	Métodos de extracción	Niveles críticos ppm
B	Agua caliente	0.4 - 0.6
Zn	Carolina Norte	0.8
Mn	Carolina Norte	5
Cu	0.5M - EDTA	0.7
Fe	$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$ (pH 4.8)	2.0

Metodologías más utilizadas en América Central para hacer análisis de suelos

Determinación	Solución extractora	Unidades de expresión
pH	En agua 1:2.5	
Materia orgánica	Método de Walkley y Black	%
P, Fe, Cu, Mn, Zn	Olsen modificado	ppm
K	Olsen modificado	meq/100 ml suelo
Ca, Mg, Al, H int. CIC	KCl 1 N	meq/100 ml suelo
CIC, K, Ca, Na, Mg	NH ₄ OAC pH7 N	pH
B y S	Fosfato de calcio	ppm

Flujograma Secuencia 4

Formulación de recomendaciones para el uso de fertilizantes y enmiendas con base en el análisis químico de suelos y los requerimientos nutricionales del frijol

Objetivos

- Aplicar el concepto de requerimiento nutricional.
- Identificar los factores necesarios para elaborar una adecuada recomendación para el uso de fertilizantes y cal para el frijol.
- Reconocer las unidades en que se expresan los resultados del análisis químico.
- Efectuar conversiones entre diferentes sistemas de unidades usadas en los análisis químicos y las recomendaciones.
- Elaborar recomendaciones utilizando el análisis químico de suelos.

Contenido

Criterios sobre esencialidad

- Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol
- Formas como el frijol absorbe los nutrimentos
- Formas de dar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes
- Métodos de conversión de unidades
- Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes
- Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes para el cultivo del frijol - Ejemplo
- Encalamiento de los suelos

Bibliografía

Ejercicio 4.1

Estudio de casos para la interpretación del análisis químico y recomendación de fertilizantes

- Objetivos
- Recursos necesarios
- Instrucciones
- Hoja de trabajo
- Información de retorno

Resumen de la Secuencia 4

ADF-24

Formas como el frijol absorbe los diferentes nutrimentos del suelo

Nutrimentos	Formas de absorción
N	NH_4^+ , NO_3^-
P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
K	K^+
Ca	Ca^{++}
Mg	Mg^{++}
S	SO_4^{2-}
B	BO_3H_2^-
Cl	Cl^-
Cu	Cu^{++} , quelatos
Fe	Fe^{++} , Fe^{+++} quelatos
Mn	Mn^{++}
Zn	Zn^{++}

Factores de conversión de ppm a kg/ha y a una profundidad de 0 - 20 cm, para suelos con diferentes valores de densidad aparente

Densidad aparente g/cc	ppm → Kg/ha multiplicar por
0.5	1.0
0.6	1.2
0.7	1.4
0.8	1.6
0.9	1.8
1.0	2.0
1.1	2.2
1.2	2.4
1.3	2.6
1.4	2.8
1.5	3.0
1.6	3.2
1.7	3.4
1.8	3.6

Factores de conversión de meq/100 g a kg/ha a una profundidad de 0 - 20 cm

Densidad aparente g/cm	meq/100 g → kg/ha multiplicar por		
	K	Ca	Mg
0.5	390	200	120
0.6	468	240	144
0.7	546	280	168
0.8	624	320	192
0.9	702	360	216
1.0	780	400	240
1.1	858	440	264
1.2	936	480	288
1.3	1014	520	312
1.4	1092	560	336
1.5	1170	600	384
1.7	1326	680	408
1.8	1404	720	432

Ecuación de FRIED y BROESHARD

$$Q = f (S, P, P_p E)$$

En donde:

Q = Dosis de nutrimento a aplicar

S = Nivel de disponibilidad del nutrimento en el suelo

P = Requerimiento nutricional de la planta

P_p = Potencial de producción

E = Eficiencia del fertilizante

Factores de conversión de la notación en forma de óxidos a la notación elemental

Notación por óxidos	Dividir por factor	Notación elemental
P_2O_5	2.29	P
K_2O	1.20	K
CaO	1.40	Ca
MgO	1.65	Mg
ZnO	1.25	Zn
MnO	1.29	Mn
CuO	1.25	Cu
B_2O_3	3.21	B

Recomendaciones para el abono foliar en un cultivo de frijol semimecanizado

Tipos de suelo	Pendiente (%)	Abono foliar	
Aluvial bien y moderadamente drenado (Udolls, Ustults, Tropepts) Coluvio - aluvial (Tropepts)	0 - 30 3 - 10	3 kg urea/200 l H ₂ O	Sequía prolongada Aplicación urea 1% Máximo 3 aplicaciones
Volcánicos (Andepts)	3 - 15 30 - 80	3 kg urea/200 l H ₂ O	Sequía prolongada Aplicación urea 1% Máximo 3 aplicaciones
Volcánico a partir de Tobas (Tropets)	3 - 15	2 l/ha de Quelatos y/o Metalozatos	30 - 40 D.D.S. 2 kg/100 l H ₂ O de Urea (si no aplica suelo) Urea 1%
Coluvio aluvial antiguo (Ustalfs)	3 - 15	24 kg urea/200 l H ₂ O	Sequía prolongada aplicación urea al 1% Máximo 3 aplicaciones
Residual (Ustults - humults)	3 - 15	Quelatos o Metalozatos + Urea	30 - 40 D.D.S. 20 kg/100 l de H ₂ O (si no aplica suelo) urea 2%

Resultados de análisis químico del suelo

Análisis

Identificación	Muestra No.	M.O %	pH H ₂ O	P ppm	meq/100 g				ppm					%
					Ca	Mg	K	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	B	S
Paraíso	3562	6.60	5.0	3	2.78	1.97	0.15	1.5	296	29	6	200	0.6	102

Análisis textural

Identificación	Muestra No.	g/cc	(%)			Clase textural
		d.a.	Arena	Limo	Arcilla	
No. 1	3562	1.15	42.15	16	41.5	ARCILLOSO

Formulario de análisis químico del suelo

ANÁLISIS

Código	Suelo				L. Material				Mg C ₂ H ₅	O. J. K	Fosforo MC	Nitrógeno C ₂ H ₅
	01	02	03	04	05	06	07	08				
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13

ANÁLISIS

Muestra	pH		C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	C ₂ H ₅	C ₂ H ₅
	01	02					
01	02	03	04	05	06	07	08

YDF-01