

SB
327
.45
V.3

UNIDADES DE APRENDIZAJE PARA LA CAPACITACION EN TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE FRIJOL

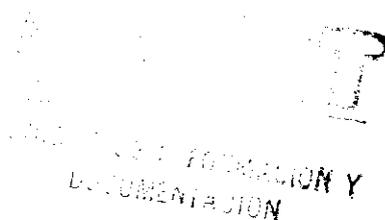
3

USO DEL ANALISIS QUIMICO PARA LA DETERMINACION DE LA FERTILIDAD DE SUELOS EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

29
CIAT
UNIDAD DE INVESTIGACION
DE FRIJOL

Ligia Ramos
Telémaco Talavera
Manuel de Jesús López

La serie de unidades de aprendizaje sobre tecnologías de producción de frijol fue elaborada y publicada con el auspicio del **Banco Interamericano de Desarrollo (BID)** Proyecto de Formación de Capacitadores, convenio CIAT-BID: ATN/SF-3840-RE (2).



Otros títulos de la misma serie:

- 2 Importancia, síntomas y manejo de las principales enfermedades del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- 3 Uso del análisis químico para la determinación de la fertilidad de suelos en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- 4 Manejo integrado de malezas en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).
- 5 Manejo agronómico del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- 6 Variedades mejoradas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): concepto, obtención y manejo.
- 7 Tecnologías no convencionales del manejo poscosecha de semilla de frijol.

USO DEL ANALISIS QUIMICO PARA LA DETERMINACION DE LA FERTILIDAD DE SUELOS EN EL CULTIVO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

Autores:

Ligia de Ramos, M.Sc.

Telémaco Talavera, M.Sc.

Manuel de Jesús López, Ing.Agr.

Asesoría científica:

Carlos A. Flor M., M. Sc.

Gloria Ortiz, M.Sc.

Coordinación general:

Vicente Zapata S., Ed. D.

Marceliano López G., M. Sc.

Producción:

Claudia Patricia López, Ing. Agr.

Florencia Satizábal, Ing. Agr.

Diagramación:

Juan Carlos Londoño L., Biól.

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, Claudia Patricia López G., Florencia Satizábal ; diagramación, Juan Carlos Londoño.
-- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1992. 178 p. Es. -- (Unidades de aprendizaje para la capacitación en tecnología de producción de frijol ; 3) .

Incluye 21 diapositivas col. y 36 transparencias en bolsillo.

ISBN: _____

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

1. Frijol -- Análisis del suelo. 2. Frijol -- Muestreo. 3. Frijol -- Necesidades de nutrientes. I. Ramos, Ligia de. II. Talavera, Telémaco. III. López, Manuel de Jesús. IV. Programa de Cooperación de Frijol para Centroamérica, México y el Caribe. VI. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Contenido

	Página
Prefacio	1
Características de la audiencia	3
Instrucciones para el manejo de la Unidad	4
Flujograma para el estudio de esta Unidad	6
Dinámica de grupo	7
Expectativas de aprendizaje	8
Exploración inicial de conocimientos	11
Objetivos: terminal y específicos	16
Introducción	18
 Conceptos básicos sobre el análisis químico de suelos	
• Suelos minerales y orgánicos	1-9
• Coloides y nutrimentos del suelo	1-10
• Criterios de esencialidad	1-12
• Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol	1-14
• Exportación de nutrimentos	1-14
• Textura del suelo	1-14
• Densidad aparente	1-16
Bibliografía	1-21
Ejercicio 1.1. Uso de la densidad aparente para determinar el peso real del suelo	1-22
Resumen de la Secuencia 1	1-27

Muestreo de suelos	Páginas
• Representatividad de la muestra	2-9
• Delimitación de las áreas para cada muestra	2-10
• Número de submuestras	2-10
• Profundidad de muestreo	2-12
• Epocas de muestreo	2-12
• Areas en donde no se deben tomar las submuestras	2-12
• Formas de tomar las muestras	2-12
• Hoja de información	2-16
• Envío de la muestra	2-16
Bibliografía	2-17
Ejercicio 2.1. Algunos aspectos teóricos del muestreo de suelos ...	2-18
Ejercicio 2.2. Toma de muestras de suelos	2-21
Resumen de la Secuencia 2	2-26

Interpretación del análisis químico de suelos

• Fundamentos del análisis químico de suelos	3-9
• Interpretación de los resultados del análisis químico de suelos	3-11
Bibliografía	3-26
Ejercicio 3.1. Interpretación de los análisis de suelos	3-27
Resumen de la Secuencia 3	3-31

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

• Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol	4-9
• Formas como el frijol absorbe los nutrimentos	4-10
• Formas de expresar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes	4-11

	Páginas
• Métodos de conversión de unidades	4-13
• Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes	4-13
• Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes en el cultivo de frijol - Ejemplo	4-20
• Encalamiento de los suelos	4-26
• Integración con otros factores de producción	4-28
Bibliografía	4-29
Ejercicio 4.1. Estudio de casos para la interpretación del análisis químico y recomendación para el uso de fertilizantes	4-31
Resumen de la Secuencia 4	4-36
Evaluación final de conocimientos	4-37

ANEXOS

Anexo 1.	Recursos necesarios	A-5
Anexo 2.	Evaluación del evento de capacitación	A-7
Anexo 3.	Evaluación del desempeño de los instructores	A-10
Anexo 4.	Evaluación de los instructores	A-12
Anexo 5.	Formulario para solicitud de análisis de suelos	A-16
Anexo 6.	Solicitud de un análisis de suelos	A-17
Anexo 7.	Aproximación de niveles críticos para análisis de suelos en frijol	A-19
Anexo 8.	Informe de un análisis de suelos	A-20
Anexo 9.	Exportación de nutrientes en las semillas, kg/ha por cada mil kilogramos de semilla	A-21
Anexo 10.	Bibliografía recomendada	A-22
Anexo 11.	Diapositivas que complementan la Unidad	A-25
Anexo 12.	Transparencias para uso del instructor	A-26

Prefacio

En las últimas décadas el Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, en colaboración con los programas nacionales de investigación agrícola, ha desarrollado tecnología para los cultivos de frijol, yuca y arroz. Al mismo tiempo, el Centro contribuyó al fortalecimiento de la investigación en los programas nacionales mediante la capacitación de muchos de sus investigadores. Como consecuencia, ahora existe en América Latina un acervo de tecnologías superiores para los agricultores y un número importante de profesionales expertos en los cultivos mencionados.

También existe en nuestros países latinoamericanos un gran número de extensionistas dedicados a estos cultivos. Sin embargo, muchos de ellos no han tenido la oportunidad de actualizarse en las nuevas tecnologías y, por lo tanto, el flujo de ellas a los agricultores no ocurre con la rapidez y amplitud requeridas para responder a las necesidades de mayor producción de alimentos y de aumento de los ingresos de nuestros pueblos. Para superar esta limitación, el CIAT ha fomentado redes de capacitación que ayudan a los extensionistas a actualizarse en las nuevas tecnologías.

Las nuevas redes están integradas por profesionales expertos en frijol, yuca o arroz, quienes aprendieron métodos de orientación del aprendizaje para la capacitación de otros profesionales, y quienes están provistos de ayudas didácticas para facilitar el aprendizaje: Unidades de Aprendizaje, una de las cuales es la presente.

Hasta ahora se desarrollaron tres redes de capacitación; en el proceso de su transformación de especialistas agrícolas en "capacitadores" de profesionales agrícolas, elaboraron estas Unidades de Aprendizaje. Creemos que ellas son instrumentos dinámicos que esperamos sean adoptados por muchos profesionales, quienes harán ajustes a sus contenidos para adecuarlos a las condiciones locales particulares en que serán usados.

Hasta ahora las Unidades pasaron exitosamente la prueba de su uso. Pero sólo con el correr del tiempo veremos si realmente habrán servido para que la tecnología haya llegado a los agricultores, mejorando su bienestar y el de los consumidores de los productos generados en sus tierras. Con el ferviente deseo de que estos beneficios se hagan realidad entregamos las Unidades para su uso en las redes y fuera de ellas.

En el desarrollo metodológico de las Unidades y en su producción colaboraron muchas personas e instituciones. A todas ellas nuestro reconocimiento; especialmente a los nuevos capacitadores, a los dirigentes de sus instituciones y a los científicos del CIAT.

Un particular agradecimiento corresponde a la señora Flora Stella Collazos de Lozada por su eficaz y eficiente transcripción de los originales.

Hacemos un claro reconocimiento de la labor de dirección de la estrategia de formación de capacitadores, realizada por Vicente Zapata S., Ed. D., y de las correspondientes actividades de capacitación de las cuales surgió la serie de Unidades de Aprendizaje para la Capacitación en frijol.

Finalmente nuestro agradecimiento al Banco Interamericano de Desarrollo que financió el Proyecto para la Formación de Capacitadores, incluyendo la producción de estas Unidades.

Gerardo Häbich

Director Asociado de Relaciones Institucionales
CIAT

Características de la audiencia



Esta Unidad de Aprendizaje está dirigida a una audiencia conformada por técnicos de educación media y superior (Ingenieros Agrónomos, Técnicos Agrícolas, estudiantes de agronomía de nivel universitario medio y superior) cuya actividad principal sea la transferencia de tecnología y que estén directa o indirectamente vinculados con instituciones gubernamentales, privadas o semiprivadas.

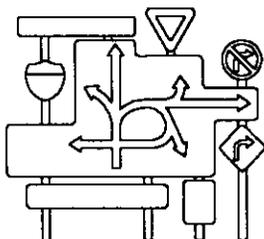
Los principales intereses y necesidades generales de la audiencia son el mejoramiento de sus capacidades como profesionales transferidores de tecnología referente al cultivo del frijol para:

- Capacitar a los profesionales que trabajen en extensión agrícola.
- Capacitar a los productores del grano.

Con esta Unidad se pretende específicamente que los técnicos queden en capacidad de:

- ✓ Aclarar los conceptos y la terminología referente a la fertilidad de los suelos.
- ✓ Conocer las técnicas de muestreo.
- ✓ Interpretar adecuadamente el análisis químico de suelos para hacer las recomendaciones sobre el uso de fertilizantes y enmiendas en el cultivo del frijol.
- ✓ Adquirir habilidades para convertir las recomendaciones que se dan sobre el uso de fertilizantes de un material a otro de grado diferente.

Instrucciones para el manejo de la Unidad



Esta Unidad de Aprendizaje ha sido preparada para su uso en el área de Centro América, México y el Caribe, por lo cual en ella se hace referencia específica a ese contexto geográfico y a los agroecosistemas comprendidos en dicha región. Las personas interesadas en emplear este material para la capacitación en otras regiones o países deberán realizar los ajustes necesarios, tanto en el contenido teórico como en aquellas partes que se refieren a los resultados de la investigación local.

El contenido de la Unidad se distribuye en cuatro secuencias instruccionales, con recursos metodológicos y materiales de apoyo, con el fin de facilitarle a la audiencia el aprendizaje. Para optimizar su utilidad sugerimos tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

Antes de usar la Unidad cerciórese de que sus componentes (páginas de contenido, diapositivas y transparencias) se encuentren en buen estado y con la secuencia adecuada; familiarícese con ellas; asegúrese de contar con el equipo necesario para proyectar las diapositivas y transparencias; compruebe su buen funcionamiento; ponga en práctica los recursos metodológicos de la Unidad, midiéndoles el tiempo para que pueda llevar a cabo todos los eventos de instrucción (preguntas, respuestas, ejercicios, presentaciones, etc.); prepare los sitios y materiales que necesite para las prácticas de campo y finalmente asegúrese de tener a mano todos los materiales necesarios para la instrucción.

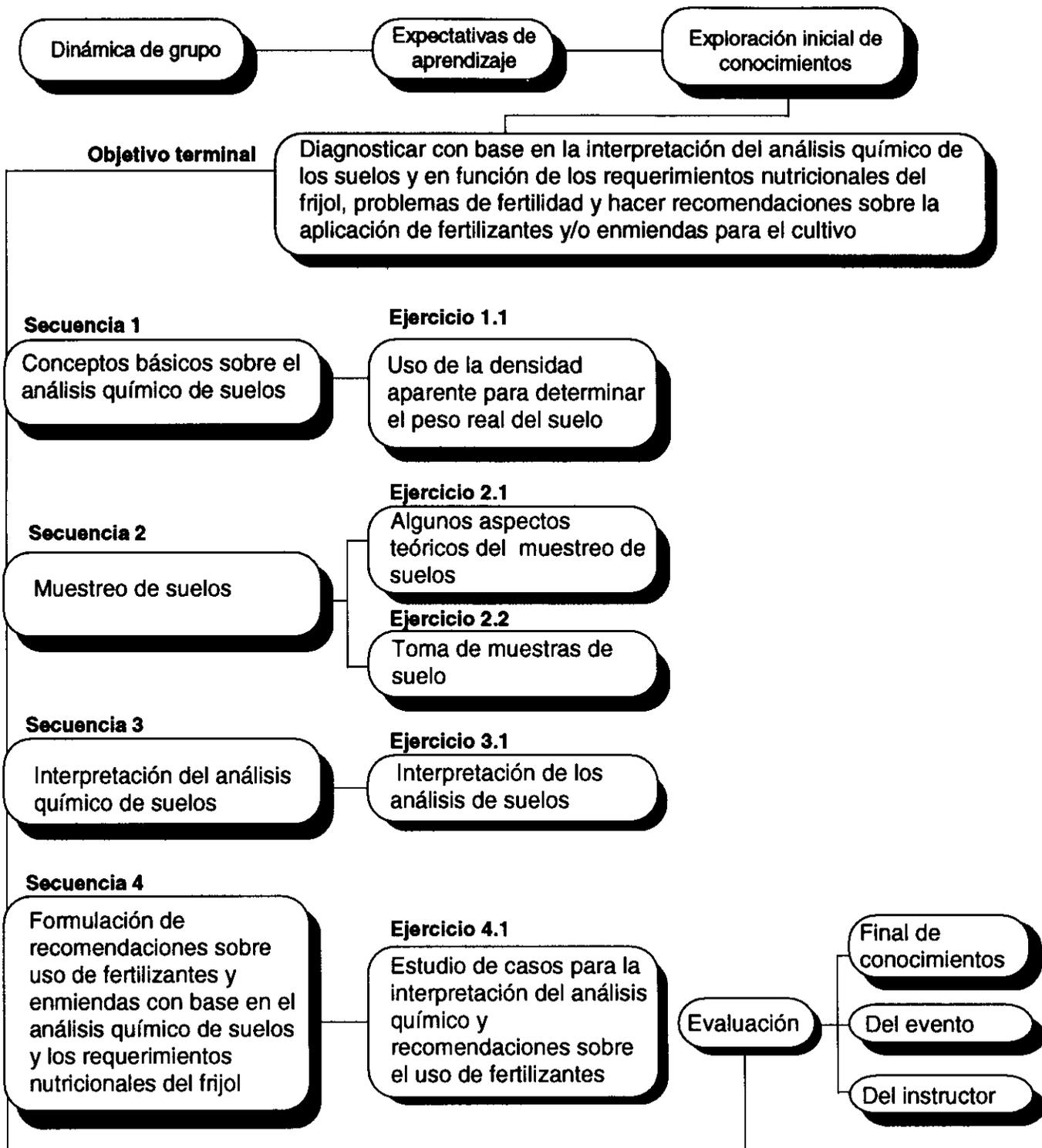
Durante el uso de la Unidad tenga siempre presente que los participantes en el curso son los protagonistas de su propio aprendizaje, por lo tanto, anímelos a participar activamente; revise continuamente el flujograma de actividades programadas y el tiempo que ha destinado para cada una con el fin de asegurar su cumplimiento; evite las discusiones personales innecesarias para que pueda cumplir con los objetivos de la Unidad; escriba las observaciones que, según su criterio, permiten mejorar el contenido y la metodología de la Unidad; haga énfasis en los objetivos específicos para aumentar la concentración de la audiencia; centre la atención de los participantes en los puntos principales y en la relación que tienen todos los subtemas con el objetivo terminal de la Unidad.

Para desarrollar cada secuencia, el instructor discutirá los objetivos específicos, luego expondrá el contenido técnico e introducirá las prácticas y ejercicios en el aula y en el campo.

A los participantes se les hará una evaluación formativa y al final del taller se realizará la evaluación sumativa.

Después de usar la Unidad cerciórese de que todos sus elementos queden en buen estado y en el orden adecuado; obtenga información de retorno con respecto a su eficacia como instrumento de aprendizaje; responda a las inquietudes de la audiencia y haga las preguntas que considere convenientes. Insista en la consulta de la bibliografía recomendada y en la búsqueda de información más detallada sobre los temas del contenido que hayan despertado mayor interés en la audiencia. Luego de transcurridos dos ciclos del cultivo evalúe la aplicación de las recomendaciones sobre muestreo, interpretación de análisis, aplicación de cal y/o fertilizantes, en la zona de influencia de los técnicos participantes en la capacitación, utilizando la observación de los cambios e innovaciones en el manejo de fertilizantes, la respuesta de los cultivos a la aplicación de cal y/o fertilizantes y la opinión de los productores como indicadores de la efectividad del aprendizaje logrado cuando se estudió la Unidad.

Flujograma para el estudio de esta Unidad¹



1/ El flujograma muestra la secuencia de pasos que el instructor y la audiencia deben dar para lograr los objetivos.

Dinámica de grupo



Con el propósito de conocerse y lograr una mayor integración entre los participantes del evento se sugiere la siguiente estrategia que el instructor puede ajustar de acuerdo con las circunstancias específicas de la capacitación:

El instructor organizará la rifa de un folleto sobre fertilizantes. Para tal efecto preparará con anterioridad grupos de 4 ó 5 fichas. Cada grupo de fichas se enumerará consecutivamente. Todas las fichas de un grupo tendrán el mismo número y una cualquiera además del mismo número tendrá el nombre de un fertilizante. Al efectuar la rifa, cada participante sacará una ficha, y entre los participantes que hayan sacado la ficha con el nombre de un fertilizante, se hará la rifa del folleto. Una vez terminada la rifa, los participantes con igual número formarán grupos que se conocerán con el nombre del fertilizante que les correspondió. Los miembros de cada grupo se presentarán entre sí y nombrarán un relator para que los presente a los demás participantes.

El instructor puede optar por otra forma de iniciación, especialmente cuando los participantes han compartido varios días de trabajo en equipo, u otro instructor ha realizado un ejercicio similar. También se puede prescindir de ella.

Expectativas de aprendizaje

Orientación para el instructor

En el cuestionario de Expectativas de Aprendizaje los participantes pueden expresar sus intereses y/o qué esperan del contenido técnico de esta Unidad. Este resultado será correlacionado con los objetivos de la capacitación. Las preguntas deben responderse en forma individual; al terminar cada participante se reunirá con sus compañeros de grupo para compartir sus respuestas. El grupo escogerá un relator quien tendrá a su cargo la presentación de las expectativas del grupo.

Con base en las presentaciones realizadas por los relatores, el instructor clasificará en un papelógrafo la información presentada. Cuando todos los relatores hayan hecho su presentación, el instructor procederá a indicar cuáles expectativas:

- Coinciden plenamente con los objetivos de la Unidad.
- Tienen alguna relación con los objetivos de la Unidad.
- Se refieren a otros aspectos de la capacitación que no han sido considerados en la Unidad.

Expectativas de aprendizaje

Instrucciones para el participante



El cuestionario que se presenta a continuación tiene como objetivo correlacionar sus expectativas con las de sus compañeros y con los objetivos de la Unidad. Cuando haya contestado a las preguntas reúnanse con sus compañeros de grupo, comparta con ellos las respuestas y nombren un relator para presentar las conclusiones del grupo.

Tiempo: 20 minutos

Nombre: _____ Fecha: _____

Nivel académico: _____

Institución o Entidad _____

Responsabilidad actual en su trabajo

- Investigación
- Extensión
- Docencia
- Administración
- Otros

Marque con una "X" aquellas frases que correspondan a los conocimientos que sean necesarios para el buen desarrollo de su trabajo y que espera adquirir con el estudio de esta Unidad:

1. Interpretar el resultado de un análisis químico de suelos en función del cultivo del frijol.
2. Aplicar la interpretación del análisis químico de suelos a la taxonomía de suelos de la región.
3. Estar en capacidad de hacer recomendaciones sobre manejo de cal y fertilizantes con base en los resultados del análisis de suelos.

4. Tomar correctamente muestras de suelo para el cultivo del frijol.
5. Identificar los nutrimentos esenciales para el desarrollo normal de la planta del frijol.
6. Aprender a realizar un análisis químico de suelos.
7. Entender todo el proceso químico y matemático para hacer conversiones entre las diferentes unidades (ppm, meq, % de saturación, meq/l etc.) usadas en el análisis químico de suelos.
8. Diagnosticar problemas de fertilidad de suelos para el cultivo del frijol.
9. Identificar suelos aptos para el cultivo del frijol, desde el punto de vista de su fertilidad.
10. Aprender a correlacionar los resultados de los análisis químicos de suelos con los de los análisis de tejido vegetal para hacer recomendaciones sobre el uso de fertilizantes.

Exploración inicial de conocimientos

Orientación para el instructor

A continuación se presenta un cuestionario con una serie de preguntas que tienen relación con el contenido técnico de la Unidad. Al contestar estas preguntas se espera lograr en los participantes una evaluación de conocimientos sobre los temas principales de la Unidad.

Una vez que los participantes hayan contestado el formulario, el instructor dará las respuestas correctas sin entrar en mayores detalles o explicaciones sobre el porqué de las respuestas.

Al finalizar el estudio de la Unidad se hará la evaluación final de conocimientos para comparar los resultados con la exploración inicial. De esta manera se podrá tener una indicación sobre el progreso logrado por los participantes.

Exploración inicial de conocimientos

Instrucciones para el participante



Responder a este cuestionario le ayudará a conocer cuánto sabe acerca de los aspectos más importantes de esta Unidad. Una vez que lo haya respondido, usted podrá comparar los resultados que obtenga con los que le presente el instructor y estimar los conocimientos con que usted inicia el estudio de este tema.

Tiempo: 15 minutos

Nombre: _____

Fecha _____

Conteste si son falsos (F) o verdaderos (V) los siguientes enunciados:

- | | F | V |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. El P es un macronutriente para el frijol | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Los tres macronutrientes para el frijol son NPK | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Las variedades del frijol tienen diferentes requerimientos nutricionales | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Las decisiones correctas sobre la práctica de fertilización de un cultivo del frijol son las que se toman solamente con base en los resultados de un análisis químico de suelo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. La toxicidad de aluminio en el suelo disminuye drásticamente los rendimientos del frijol | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. La forma correcta de indicar los contenidos de fósforo y potasio de un fertilizante es en términos de porcentaje de P_2O_5 y porcentaje de K_2O | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. En suelos en condiciones de acidez extrema es frecuente encontrar problemas de nutrición, tales como deficiencias de P, Ca y Mg | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

- | | F | V |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 8. En suelos en condiciones de acidez extrema, es frecuente encontrar problemas de nutrición, tales como deficiente fijación de N y toxicidad causada por Al, Fe y Mn | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Si un suelo tiene 180 ppm de P es segura la respuesta positiva del cultivo de frijol a la aplicación de fertilizantes fosfatados | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Una relación $\frac{Ca}{Mg} = 4$ es óptima para el cultivo de frijol | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Exploración inicial de conocimientos - Información de retorno

Orientación para el instructor

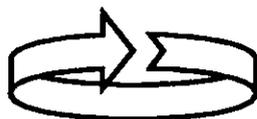
Una vez los participantes hayan contestado las preguntas del cuestionario, el instructor procede de la siguiente manera:

1. Presenta las respuestas correctas (papelógrafo, acetato o impreso).
2. Permite que los participantes comparen sus respuestas con las que él ha presentado.
3. Discute brevemente las respuestas sin profundizar demasiado en cada una de ellas.

Para hacer más dinámico este ejercicio, los cuestionarios se pueden intercambiar entre los participantes y revisarse. El instructor puede hacer un conteo del número de individuos que contestaron acertadamente a cada una de las preguntas. De esta manera el instructor puede conocer en qué medida un mayor o menor número de participantes posee un conocimiento previo acerca de los diferentes tópicos a tratar.

Es también recomendable que el instructor tenga a disposición de los participantes las referencias bibliográficas específicas (texto, capítulo, página) que se refieren a las respuestas.

Exploración inicial de conocimientos - Información de retorno



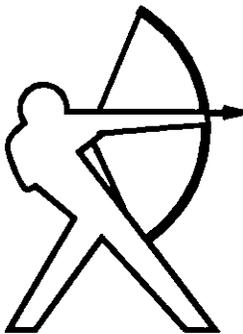
Pregunta	Respuesta	
	V	F
1. El P es un macronutriente para el frijol		X
2. Los tres macronutrientes para el frijol son NPK		X
3. Las variedades del frijol tienen diferentes requerimientos nutricionales	X	
4. Las decisiones correctas sobre la práctica de fertilización de un cultivo del frijol son las que se toman solamente con base en los resultados de un análisis químico de suelo.		X
5. La toxicidad de aluminio en el suelo disminuye drásticamente los rendimientos del frijol	X	
6. La forma correcta de indicar los contenidos de fósforo y potasio en un fertilizante es en términos de % P_2O_5 y % de K_2O		X
7. En suelos en condiciones de acidez extrema es frecuente encontrar problemas de nutrición, tales como deficiencias de P, Ca y Mg	X	
8. En suelos en condiciones de acidez extrema es frecuente encontrar problemas de nutrición, tales como deficiente fijación de N y toxicidad causada por Al, Fe y Mn	X	
9. Si un suelo tiene 180 ppm de P es segura la respuesta positiva del cultivo de frijol a la aplicación de fertilizantes fosfatados		X
10. Una relación $\frac{Ca}{Mg} = 4$ es óptima para el frijol	X	

Objetivos

Terminal

Al finalizar el estudio de esta Unidad, el participante será capaz de diagnosticar con base en la interpretación del análisis químico de suelos y en función de los nutrimentos que requiere el cultivo del frijol, problemas de fertilidad que afecten el desarrollo normal de la planta del frijol y además hacer recomendaciones sobre la aplicación de fertilizantes y/o enmiendas para el cultivo.

Específicos

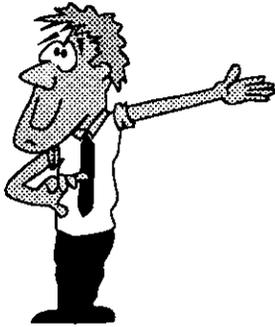


Para lograr el objetivo terminal previamente expuesto, es necesario alcanzar e integrar los siguientes objetivos específicos:

- ✓ 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.
- ✓ Aplicar técnicas de muestreo de suelos para obtener una muestra compuesta homogénea y representativa del suelo del lote o finca, cuya fertilidad interesa conocer.
- ✓ Evaluar, mediante la interpretación de los resultados del análisis químico 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.
- ✓ Aplicar el concepto de requerimiento nutricional en la formulación de recomendaciones para el uso de fertilizantes en un cultivo de frijol.
- ✓ Identificar los factores necesarios para elaborar una adecuada recomendación sobre el uso de fertilizantes y cal para el cultivo del frijol.
- ✓ Reconocer las unidades en que se indican los resultados del análisis químico y los contenidos de nutrimentos de los fertilizantes.
- ✓ Efectuar las conversiones de un sistema de unidades a otras usadas en los análisis químicos y en las recomendaciones.

- ✓ **Elaborar recomendaciones sobre el uso de fertilizantes y cal utilizando los análisis químicos de suelos y los requerimientos nutricionales del cultivo del frijol.**

Introducción



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 nutrientes), 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 nutrientes 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 nutrientes 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.

Flujograma 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

Bibliografía

Ejercicio 1.1

- Uso de la densidad aparente para determinar el peso real del suelo
- Objetivos
 - Recursos necesarios
 - Instrucciones
 - Hoja de Trabajo
 - Información de retorno

Resumen de la Secuencia 1

Objetivos



Al finalizar el estudio de esta secuencia, los participantes podrán:

- ✓ 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 1

Conceptos básicos sobre el análisis químico de suelos

Contenido

	Página
Objetivos	1-7
Información	1-9
Suelos minerales y orgánicos	1-9
Coloides y nutrimentos del suelo	1-10
• Porcentaje de saturación de bases	1-11
• Capacidad de intercambio catiónico	1-11
• Porcentaje de saturación de aluminio	1-12
Criterios de esencialidad	1-12
• Macronutrimentos	1-13
• Nutrimentos secundarios	1-13
• Micronutrimentos	1-13
Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol	1-14
Exportación de nutrimentos	1-14
Textura del suelo	1-14
Densidad aparente	1-16
Determinación de la densidad aparente (d.a.)	1-16
• Determinación con parafina de la d.a.	1-16
• Determinación de la d.a. haciendo uso de un recipiente o cilindro de volumen conocido	1-17
• Uso de la densidad aparente	1-18
Bibliografía	1-21
Ejercicio 1. Uso de la densidad aparente para determinar el peso real del suelo	1-22
• Objetivos	
• Recursos necesarios	
• Instrucciones	
• Hoja de trabajo	
• Información de retorno	
Resumen de la Secuencia 1	1-27

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 nutrimentos 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 1.1.

Cuadro 1.1. 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	$H_2PO_4^-$; 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^+		

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.

En este proceso de intercambio, los cationes de mayor carga eléctrica son retenidos con mayor fuerza por los coloides. Ej. $Al^{3+} > Ca^{2+} > K^+$.

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^+ , Al^{3+}) y cationes básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , 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:

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

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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , 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 nutrientes 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:

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

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) (Raij, 1981).

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

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

Macronutrimentos

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 macronutrimentos es:

- Nitrógeno
- Potasio
- Calcio

Nutrimentos secundarios

Un grupo intermedio que corresponde a los elementos secundarios:

- Azufre
- Magnesio
- Fósforo

Micronutrimentos

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 nutrimentos 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 nutrimentos

Este concepto se refiere a la cantidad de nutrimentos 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 nutrimentos 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 1.1).

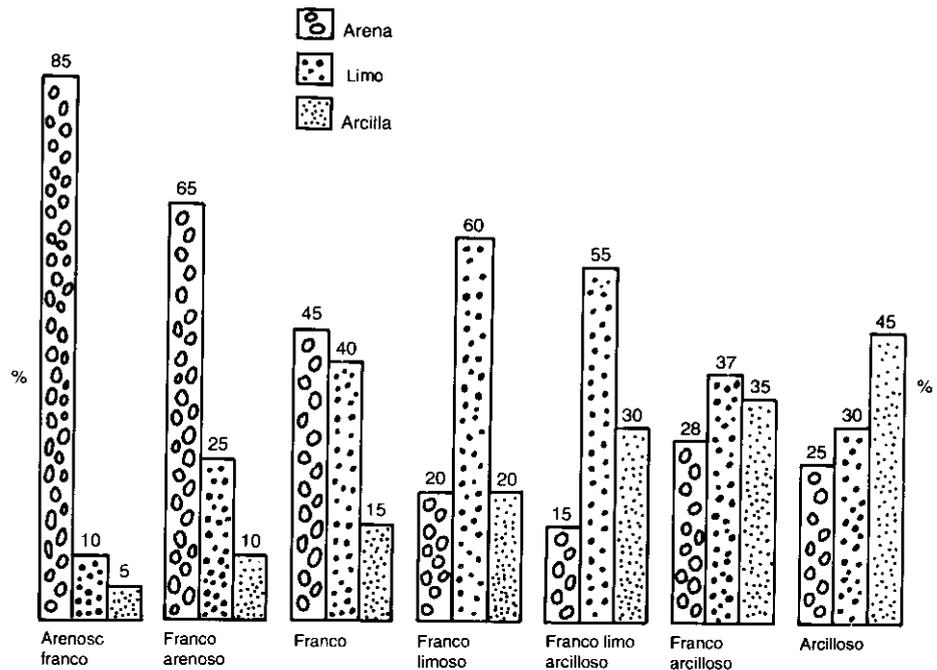


Figura 1.1. Representación gráfica de los análisis físicos de suelos minerales típicos. Tomado de: Brady, N.C. and Buckman, H.O., 1969.

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.

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 nutrimentos 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 terrón, 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.

$$V_t = V_f - V_i$$

$$V_t = \text{volumen del terrón}$$

$$V_f = \text{volumen final (agua + terrón)}$$

$$V_i = \text{volumen inicial (solamente agua)}$$

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

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:

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

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

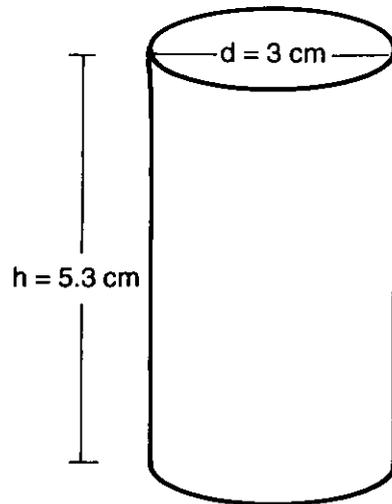
V = volumen de la lata en cc

$\pi = 3.1416$

d = diámetro de la lata en cm

h = altura de la lata en cm

Un ejemplo se puede ver en la Figura 1.2.



$$V = 3.1416 \times \frac{3^2}{4} \times 5.3 = \frac{3.14.16 \times 9 \times 5.3}{4} = 37.46$$

Figura 1.2. Forma de determinar el volumen de un recipiente cilíndrico.

La lata se introduce en el suelo tratando de que se produzca la menor perturbación 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 1.2 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 1.2 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 1.3 se indican los pesos correspondientes a una hectárea de diferentes clases de suelos a 20 cm de profundidad.

Cuadro 1.3. 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

Bibliografía

- 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.
- 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.
- 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.

Ejercicio 1.1 Uso de la d.a. para determinar el peso real del suelo

Objetivos

El presente ejercicio tiene como propósito permitir a los participantes:

- ✓ Calcular el peso real de una hectárea de suelo tomando en cuenta la densidad aparente del mismo.
- ✓ Determinar si existe subestimación o sobreestimación de los contenidos de nutrimentos en diferentes tipos de suelo al compararlos con el valor tradicional de 2'000.000 kg/ha.

Recursos necesarios

- Retroproyector (proyector para láminas transparentes)
- Láminas transparentes
- Marcador para láminas
- Pizarrón con borrador y tiza o marcador

Instrucciones

- La audiencia se dividirá en cuatro grupos.
- Se entregará a todos los participantes una hoja con los ejercicios para desarrollar.
- Los ejercicios incluyen cálculos matemáticos; para hacerlos es necesario utilizar las fórmulas y las tablas discutidas previamente.
- Cada grupo desarrollará todos los ejercicios en el término de 15 minutos y elegirá un relator para que exponga los resultados obtenidos.
- El instructor escogerá al azar, dentro de los relatores elegidos, la persona que, haciendo uso del pizarrón, mostrará a sus compañeros la forma de resolver el ejercicio 1.1

Cuando el relator termine su ejercicio, el instructor preguntará a la audiencia si está de acuerdo con su resultado; de no ser así, pedirá a otro miembro de la audiencia que pase al pizarrón a hacer las correcciones.

De no darse una respuesta correcta, el instructor resolverá el ejercicio haciendo las aclaraciones necesarias en los puntos que originaron las dudas.

El mismo procedimiento se seguirá con los otros ejercicios.

1. Se tienen 3 suelos A, B y C, sus respectivas densidades aparentes y pesos reales.

Compare estos valores con el valor tradicional de 2'000.000 kg para 1 ha a la profundidad de 20 cm y calcule en cuánto se sobreestimó o subestimó el verdadero peso.

Suelos	d.a. g/cc	Peso del suelo a 20 cm de profundidad en kg/ha	Sobreestimación(+) Subestimación(-)
Suelo A	0.4	800.000	
Suelo B	0.9	1'800.000	
Suelo C	1.4	2'800.000	
Valor convencional		2'000.000	

Comentarios sobre este ejercicio _____

2. Un campo cultivado de frijol se muestreó a una profundidad de 20 cm y se reportó una densidad aparente de 1.15 g/cc. ¿Cuál es el peso real de este suelo? ¿Hay subestimación o sobreestimación con respecto al valor tradicional?

3. Un suelo posee una densidad aparente de 0.85 g/cc; el muestreo se hizo a 20 cm de profundidad. ¿Cuál es el peso real del suelo? ¿Hay subestimación o sobreestimación con respecto al valor tradicional?

4. Describa una forma práctica de determinar la densidad aparente del suelo. _____

Ejercicio 1.1 Información de retorno



1. Sobreestimación y subestimación

Suelo	Diferencia de peso con respecto al valor tradicional	Sobreestimación (+) Subestimación (-)
Suelo A	1.200.000*	+
Suelo B	200.000*	+
Suelo C	800.000*	-

2. Cálculo del peso real del suelo.

- Conversión de las unidades de la densidad aparente.

Una densidad aparente de 1.15 g/cc significa que 1 cc de suelo pesa 1.15 g. Haciendo las respectivas conversiones es igual a una densidad de 1150 kg/m³.

- Cálculo del volumen del suelo

$$\text{Area de 1 ha} = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Profundidad} = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de la ha} = \text{Area} \times \text{profundidad}$$

$$V = 10.000 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m}$$

$$V = 2.000 \text{ m}^3$$

- Cálculo del peso del suelo

$$\text{Peso} = \text{volumen} \times \text{densidad}$$

$$P = 2000 \text{ m}^3 \times \frac{1150 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 2'300.000 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de ha} = 2'300.000 \text{ kg}$$

En este caso se subestimaría el peso real de la hectárea de suelo.

3. Cálculo del peso real de una ha de suelo.

- Conversión de las unidades de densidad aparente:

$$0.85 \text{ g/cc} = 850 \text{ kg/m}^3$$

- Cálculo del volumen del suelo.

$$\text{Area de la ha} = 100 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2$$

$$\text{Profundidad de muestreo} = 20 \text{ cm} = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de la ha} = \text{área} \times \text{profundidad}$$

$$V = 10.000 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} = 2.000 \text{ m}^3$$

$$V = 2.000 \text{ m}^3$$

- Cálculo del peso de la hectárea

$$\text{Peso} = \text{Volumen} \times \text{densidad}$$

$$\text{Peso de la hectárea} = 2.000 \text{ m}^3 \times 850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso ha} = 1'700.000 \text{ kg}$$

En este caso se sobreestima el valor de peso de la hectárea de suelo.

4. Descripción del proceso para determinar la densidad aparente en forma práctica.

Se toma un pedazo de tubo de PVC o una lata, se le determina el volumen, se introduce en el suelo cuya d.a. se quiere determinar, tratando de no disturbar el suelo y se extrae un volumen igual al volumen de la lata o tubo; si el suelo está seco se pesa, de lo contrario se pone a secar sobre un papel o tabla antes de pesarlo.

Conociendo el peso y el volumen de la muestra que es igual al volumen de la lata o tubo se calcula la d.a. utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{d.a. (g/cc)} = \frac{\text{peso de la muestra (g)}}{\text{volumen de la muestra (cc)}}$$

Resumen de la Secuencia 1

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.

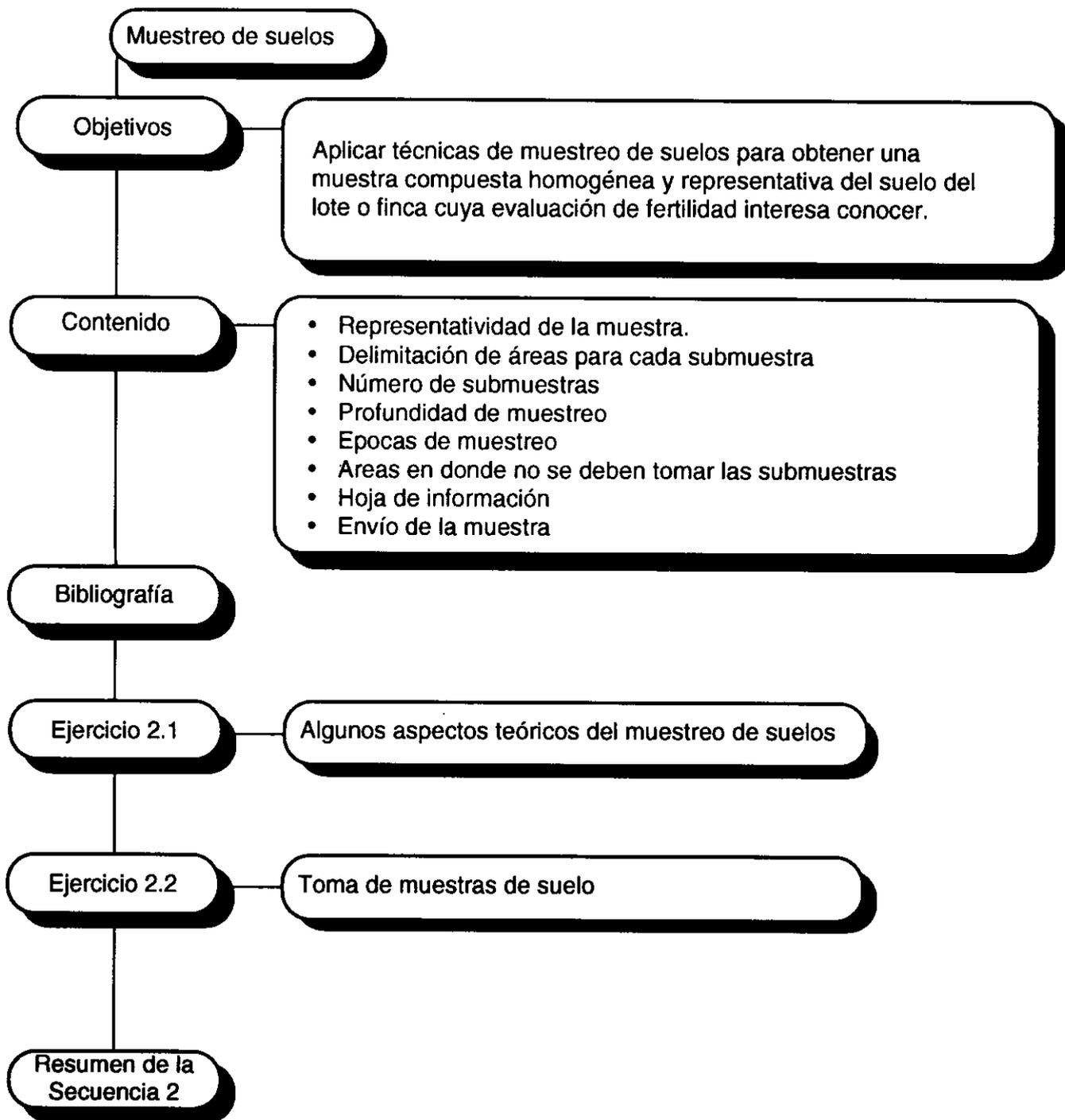
Secuencia 2

Muestreo de suelos

Contenido

	Página
Objetivos	2-7
Información	2-9
• Representatividad de la muestra	2-9
• Delimitación de las áreas para cada muestra	2-10
• Número de submuestras.....	2-10
• Profundidad de muestreo	2-12
• Epocas de muestreo	2-12
• Areas en donde no se deben tomar las submuestras	2-12
• Formas de tomar las muestras	2-12
• Hoja de información	2-16
• Envío de la muestra	2-16
Bibliografía	2-17
Ejercicio 2.1. Algunos aspectos teóricos del muestreo de suelos ...	2-18
• Objetivos	
• Recursos necesarios	
• Instrucciones	
• Hoja de trabajo	
• Información de retorno	
Ejercicio 2.2. Toma de muestras de suelo	2-21
• Objetivos	
• Recursos necesarios	
• Instrucciones	
• Hoja de trabajo	
• Información de retorno	
Resumen de la Secuencia 2	2-26

Flujograma Secuencia 2



Objetivo



Al finalizar esta secuencia, los participantes estarán en capacidad de:

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

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 2.1 se ilustra la forma en que se seleccionan los puntos de

SELECCION DE PUNTOS DE MUESTREO

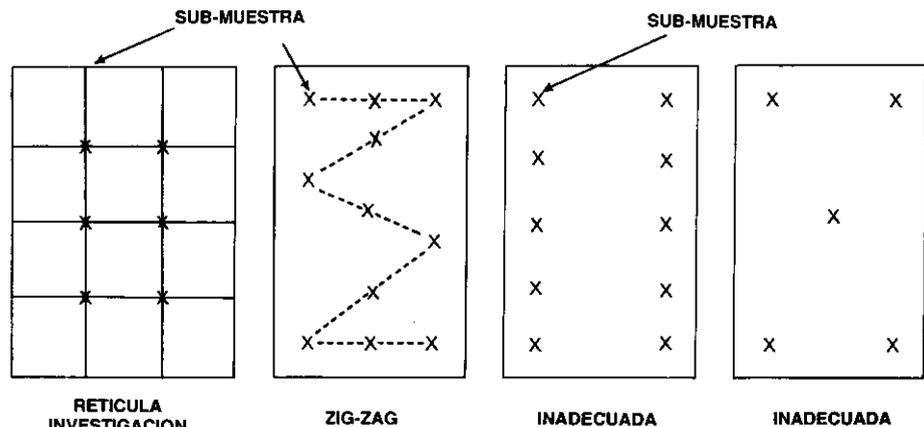


Figura 2.1 Selección de puntos de muestreo.

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:

- Áreas de diferente topografía: plana, ondulada y pendiente.
- Áreas de suelos con diferente color: negros, rojos, pardos.
- Áreas de diferentes cultivos o vegetación: café, frijol, pastos, bosque, etc
- Áreas de textura diferente; arenosa, arcillosa, orgánica, etc.
- Presencia o ausencia de parches salinos
- Presencia de deficiencias o toxicidades
- Áreas de diferente fertilización: con cal, sin cal, con abono, sin abono.
- Áreas 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 2.1). 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 2.1 presentan el número mínimo de muestras por área que se deben tomar.

Cuadro 2.1. 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 2.2.

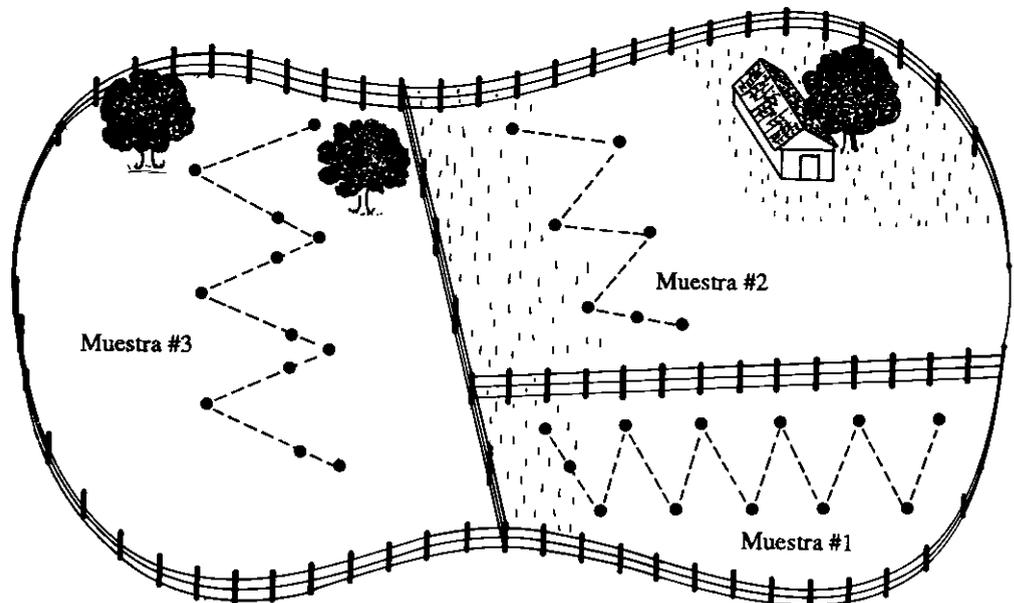


Figura 2.2. Delimitación de las áreas de muestreo en una finca o campo de cultivo.

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).

Areas en donde no se deben tomar las submuestras

- Areas muy pequeñas que difieren mucho del resto del campo y que por su tamaño no tienen significación en la producción.
- Areas 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 quemas, etc.

Formas de tomar las muestras

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
- 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 2.3B).
- 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. 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 2.4).
- 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.

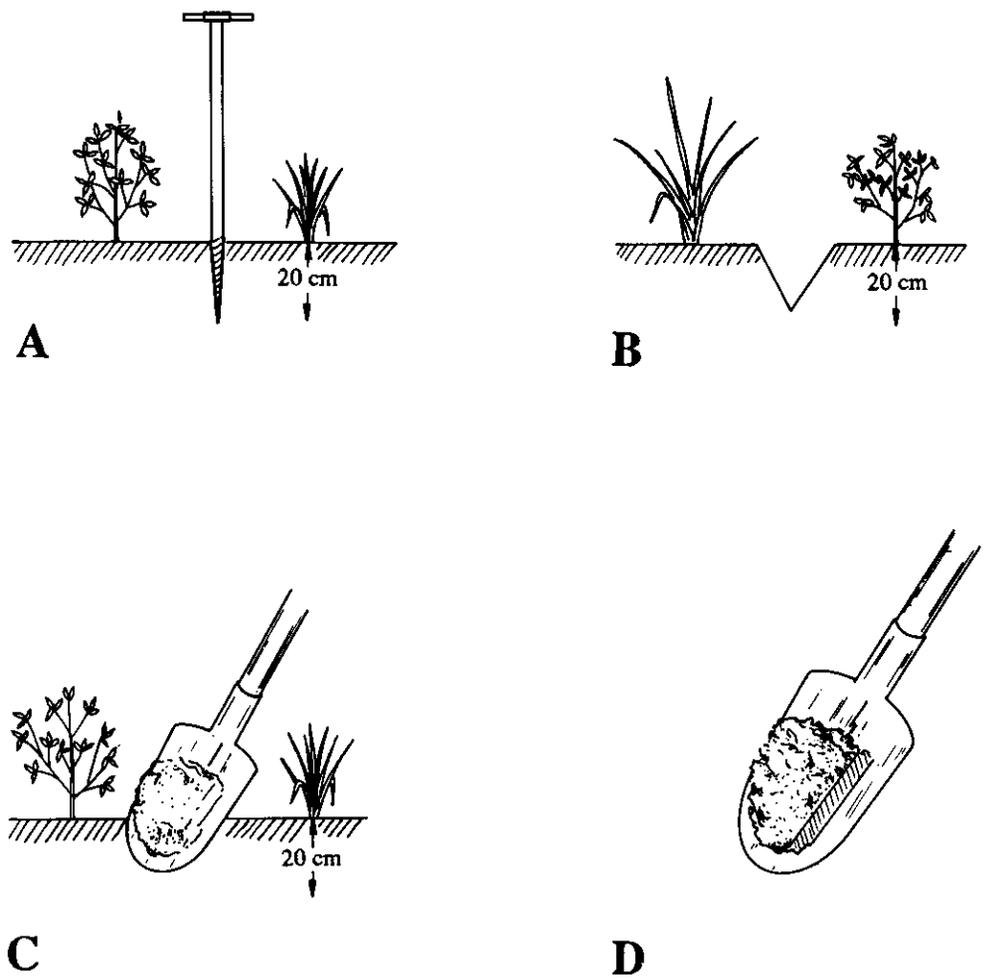
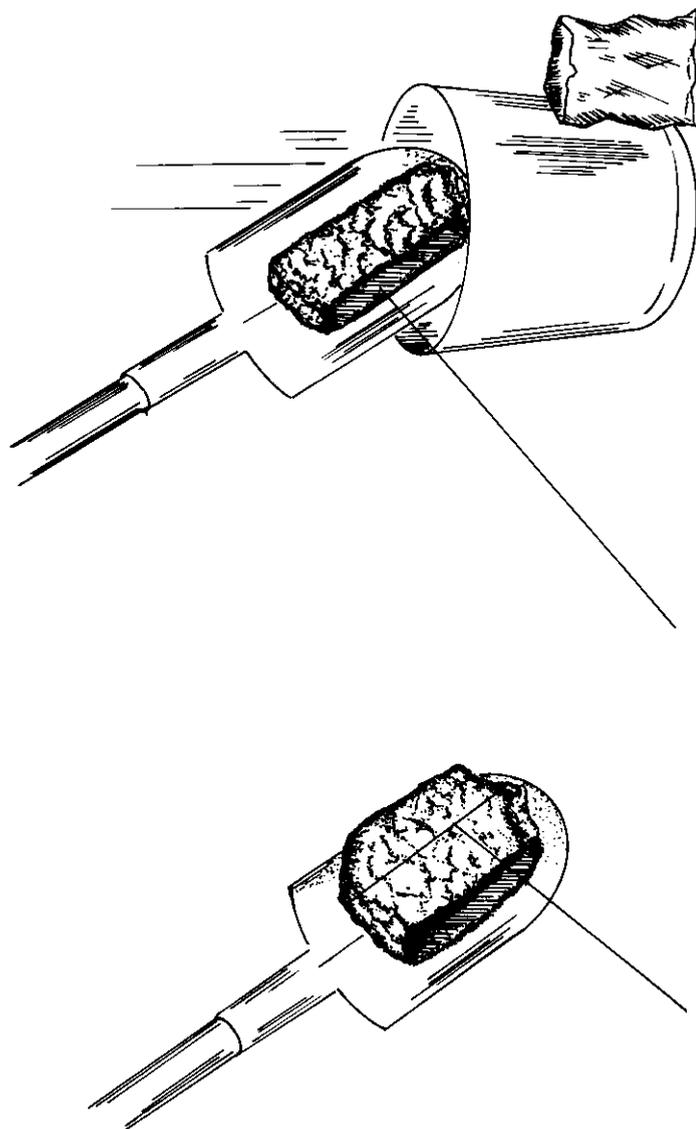


Figura 2.3. (A) Uso del barreno (B) hueco para el uso de la pala (C) uso de la pala (D) porción o tajada de suelo con espesor de 2-3 cm.



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.

Figura 2.4. Características de la submuestra. (Es recomendable eliminar la parte de la submuestra indicada en la figura)

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 5 y 6.

Bibliografía

- FLOR, C.A. 1985. El diagnóstico de problemas en frijol. En. "Frijol: Investigación y producción". PNUD-CIAT. 385 - 400 p.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA), 1980. El análisis de suelos y las recomendaciones de cal y fertilizantes para diversos cultivos. Cuarta aproximación. Centro Experimental Tibaitatá. 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.
- TISDALE, S.L., W.L. NELSON. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizante. Balasch, J. (Trad.) 5a. Ed. Barcelona, España.

Ejercicio 2.1 Algunos aspectos teóricos del muestreo de suelos

Objetivos

Describir y analizar los aspectos a tener en cuenta para la toma correcta de muestras de suelo para el cultivo del frijol.

Recursos necesarios

Se necesitan algunas ayudas didácticas

- Acetatos con dibujos
- Diapositivas
- Papelógrafo

Instrucciones

A continuación se presenta una serie de preguntas relacionadas con el muestreo de suelos. Debe contestarse en forma individual.

El siguiente cuestionario debe ser respondido en 10 minutos.

1. Enumere 5 aspectos que deben considerarse para calificar un área de muestreo como relativamente uniforme. _____

2. ¿Cuál es y por qué es importante la profundidad de muestreo para el cultivo de frijol? _____

3. ¿Cuántas submuestras deben tomarse para un muestreo en un lote de 24 ha de terreno uniforme? _____

4. ¿Cuándo se recomienda tomar muestras de suelos a profundidades como 20-40 cm en un cultivo de frijol? _____

Ejercicio 2.1 - Información de retorno



1. Color del suelo
Topografía similar
Uniformidad de especies vegetales
Presencia - ausencia de parches salinos
Presencia - ausencia de toxicidades
Manejo anterior de la fertilización
Cultivos anteriores
2. 0-20 cm. En esta parte del suelo, 0-20 cm, está aproximadamente el 80% del sistema de raíces del frijol.
3. No. de muestras = 3
Cada muestra para $24 \div 3 = 8$ ha
No. de submuestras = $3 \times 30 = 90$
4. Cuando se trabaja en experimentos cuyas variables están relacionadas con fertilidad de suelos; cuando se trabaja en condiciones de suelos salinos, sódicos.

Ejercicio 2.2 - Toma de muestras de suelos

Objetivo Aplicar técnicas de muestreo de suelos usando: a) barrenos; b) palas

**Recursos
necesarios**

- Transporte para trasladarse al sitio de muestreo.
- 5 Barrenos (varios, tipos)
- 5 Palas, azadón, machetes
- 5 Baldes plásticos
- 20 Bolsas plásticas para muestreo
- 25 Etiquetas de identificación
- 5 Lápices y marcadores
- 25 Fichas para enviar información al laboratorio

Instrucciones

La práctica consistirá en el muestreo de una área destinada a la siembra de frijol. Se deben organizar grupos de trabajo.

Esta práctica se complementará con un instrumento de evaluación de actividades el cual se utilizará para hacer la evaluación formativa de la misma. El relator de cada grupo será responsable de registrar y calificar, en la Tabla de Actividades, la realización de las actividades incluidas. A su vez el instructor debe controlar SI se realizó o NO se realizó la actividad.

Ya en el campo se procederá a:

1. Organizar los grupos de trabajo.
2. Demostrar el uso correcto de barrenos, palas, bolsas especiales para muestreo.
3. Muestrear el área asignada: mapa o croquis, número de muestras y submuestras.
4. Identificar las muestras y llenar el formulario con la historia del lote. Anexo 6.

Grupo: _____

a. Identificación de la muestra

No. de muestras _____

Localidad _____

Persona que hace el muestreo _____

Fecha _____

Cooperador _____

Ficha de laboratorio _____

b. Criterios

Profundidad de muestreo (cm) _____

No. de submuestras tomadas _____

c. Observaciones

Representatividad _____

Homogeneidad _____

Evaluación de las actividades de toma de muestras de suelos

Grupo No.: _____

Fecha: _____

Relator: _____

TABLA DE ACTIVIDADES

Actividades	Escala de control		Calificación		
	SI	NO	B = 3	R = 2	M = 1
1. Identificó los lotes diferentes para el muestreo					
2. Utilizó el barreno					
3. Utilizó la pala					
4. Limpió el barreno y/o la pala					
5. Limpió el sitio para tomar la submuestra					
6. Sacó la submuestra y colocó parte de ella en el balde					
7. Repitió las actividades 3 y 4 para establecer el número de submuestras por cada muestra					
8. Mezcló las submuestras hasta homogenizarlas					
9. Tomó unos 500 g y los puso en la bolsa plástica					
10. Identificó la muestra					
11. Llenó la hoja de trabajo - Ejercicio 2.2 Anexo 6					
Total de puntos					

ESCALA

Observaciones _____

Total puntos	Calificación
13 - 33	Bueno
12 - 22	Regular
1 - 11	Malo

Ejercicio 2.2 - Información de retorno



Después de realizada la práctica cada grupo expondrá los problemas que encontró para definir las áreas de muestreo y las dificultades que tuvieron para la toma de las submuestras; si alguno de los grupos encuentra algún problema específico, se procederá con todos los participantes a aclarar las dudas en el sitio del problema.

Algunos de los problemas encontrados pueden haberse referido a:

- Dificultad en seleccionar áreas, subáreas o lotes que requieren de un muestreo diferente.
- Poca destreza en la utilización del barreno.
- Dificultad en la utilización de varias de las herramientas para el muestreo en suelos pesados.
- Dificultad para el muestreo en suelos livianos.

Resumen de la Secuencia 2

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

Interpretación del análisis químico de suelos

Contenido

	Página
Objetivos	3-7
Información	3-9
• Fundamentos del análisis químico de suelos	3-9
• Selección de la solución extractora	3-9
• Estudios de correlación - Nivel crítico	3-10
• Interpretación de los resultados del análisis químico de suelos	3-11
• pH (reacción del suelo)	3-11
• Acidez del suelo	3-13
• Criterios para considerar el aluminio como problema	3-13
• Niveles tóxicos de aluminio	3-13
• Porcentaje de saturación de aluminio	3-15
• Manganeso en el suelo y su toxicidad para el frijol	3-15
• Materia orgánica (% M.O.)	3-15
• Fósforo (ppm)	3-17
• Potasio (meq/100 g de suelo)	3-18
• Capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g)	3-18
• Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na - meq/100 g)	3-20
• Calcio (Ca - meq/100 g)	3-20
• Magnesio (Mg - meq/100 g)	3-21
• Relación Ca/Mg	3-22
• Relación $\frac{Ca + Mg}{K}$	3-22
• Sodio (Na - meq/100 g)	3-23
• Conductividad eléctrica (Ce - mmhos/cm) - en la notación moderna d S/m	3-23
• Micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo - ppm)	3-23
• Metodologías para el análisis químico de suelos	3-25
Bibliografía	3-26

Ejercicio 3.1 Interpretación de los análisis de suelos	3-27
· Objetivos	
· Recursos necesarios	
· Instrucciones	
· Hoja de trabajo	
· Información de retorno	
 Resumen de la Secuencia 3	 3-31

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

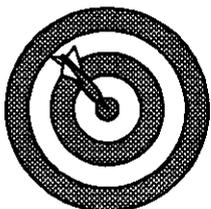
Bibliografía

Ejercicio 3.1

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

Resumen de la
Secuencia 3

Objetivo



Al finalizar el estudio de esta secuencia, los participantes estarán en capacidad de:

✓ Evaluar, mediante la interpretación de los resultados del análisis químico 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, y/o combinaciones de éstas.

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 nutriente dado. En la medida que la fracción del nutriente extraída por la solución extractora se parezca a la cantidad del nutriente extraída por las raíces, mayor será la correlación entre la respuesta del cultivo y la cantidad de ese nutriente 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 nutriente 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 7 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 7 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 3.1.

Cuadro 3.1. 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 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.

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.

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 3.2).

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 .

Cuadro 3.2. 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

En el Cuadro 3.3 se presentan los rangos de clasificación de los valores de aluminio intercambiable y sus efectos en los cultivos.

Cuadro 3.3. 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

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

En el Cuadro 3.4 se reportan los valores para Al e H intercambiable y su clasificación de acuerdo con su concentración.

Cuadro 3.4. Al e H intercambiables

Clasificación	Niveles (meq/100 g suelo)	
	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

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.

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

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

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 nutrimento. 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 3.6 se dan los niveles de clasificación para el contenido de materia orgánica en suelos minerales.

Cuadro 3.6. 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 3.7 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 nutrimento.

Cuadro 3.7. 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 3.8 se presentan los niveles críticos del P encontrados por Howeler (1980) para el frijol y la metodología de extracción utilizada.

Cuadro 3.8. 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 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 requerimiento de K varían de acuerdo con la especie y el rendimiento alcanzado; las leguminosas requieren entre 100 y 200 kg K/ha.

El Cuadro 3.9 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.

Cuadro 3.9. 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

**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 esto 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 3.10. Una escala aproximada de la CIC de acuerdo con la textura se presenta en el Cuadro 3.11.

Cuadro 3.10. 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 3.11. 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 3.12 se presenta una escala de la CIC cuando ésta es calculada por sumatoria de los cationes intercambiables (capacidad de intercambio catiónico efectiva).

Cuadro 3.12. 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 3.13 se reportan los niveles para interpretación del porcentaje de saturación de las bases.

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.

Cuadro 3.13. Tabla para la interpretación del porcentaje de saturación de bases en el suelo calculado según la fórmula:

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

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

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 3.14 se reporta una clasificación de los suelos por su contenido de Ca.

Cuadro 3.14. 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 3.15 se reportan niveles para la interpretación de la relación de Mg/K

Cuadro 3.15. 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 3.16 se reportan algunos valores como índices para el contenido de Mg en el suelo.

Cuadro 3.16. 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).

Relación $\frac{Ca + Mg}{K}$

En cuanto al K disponible, la relación $\frac{Ca + Mg}{K}$ 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 $\frac{Ca + Mg}{K}$ demasiado alta (> 60) puede indicar deficiencia de K.

En el Cuadro 3.17 se presentan rangos y clasificación de la relación $\frac{Ca + Mg}{K}$.

Cuadro 3.17. Tabla de valores para la interpretación de la relación $\frac{Ca + Mg}{K}$ 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 dS/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 3.18 se dan los valores críticos para elementos menores reportados por varios autores.

Cuadro 3.18. 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

Howeler (1980) encontró para frijol los niveles críticos de micronutrientes indicados en el Cuadro 3.19.

Cuadro 3.19. 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

En el Cuadro 3.20 se dan algunos valores tentativos para evaluar el suelo de acuerdo con el contenido de azufre (S).

Cuadro 3.20. 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 3.21).

Cuadro 3.21. 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

El Anexo 8 es un ejemplo de la forma como los laboratorios reportan los resultados de un análisis químico de suelos.

Bibliografía

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

Ejercicio 3.1 Interpretación de los análisis de suelos

Objetivos

- ✓ Detectar problemas de fertilidad en el suelo con base en el análisis químico de suelos.
- ✓ Interpretar correctamente los resultados del análisis químico de suelos.

Recursos necesarios

- Hojas de resultados de análisis químicos de suelos
- Tablas de interpretación de análisis químicos de suelos
- Lápices y hojas de trabajo
- Formatos para resultados.
- Tabla de niveles críticos (Anexo 7)

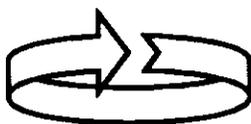
Instrucciones

Este ejercicio está acompañado de un análisis químico de suelos, correspondiente a un terreno en donde se pretende sembrar frijol.

Utilizando los resultados del análisis químico y las tablas de niveles críticos los participantes deben realizar ejercicios de interpretación que permitan detectar problemas de suelos que afecten el crecimiento y desarrollo normal del cultivo de frijol.

Adjunto a esta hoja de trabajo se presentan los resultados de cinco análisis químicos de suelos. Estos resultados se deben interpretar en función del cultivo de frijol. Se debe tratar de detectar posibles problemas de fertilidad.

Ejercicio 3.1 - Información de retorno



Junto con el instructor se discutirán cada uno de los análisis químicos presentados, siempre en función de 1) interpretación, 2) diagnóstico de problemas, 3) posibilidad de encontrar inconsistencias.

Muestra No. 1

Suelo mineral, liviano, ácido, con problemas por alta saturación de aluminio (25.9%), con deficiencias de fósforo, magnesio y boro. Bajo contenido de materia orgánica. Es inconsistente el elevado porcentaje de saturación de sodio (38%).

Muestra No. 2

Suelo mineral, pesado, con pH cercano a la neutralidad, fósforo medio a alto, buena cantidad de materia orgánica, no hay problemas con el aluminio, buenos contenidos de calcio, magnesio, potasio y muy buena CIC. No hay problemas con el sodio. Contenidos muy bajos de boro y zinc.

Muestra No. 3

Suelo mineral, pesado, ligeramente alcalino, con altos contenidos de fósforo, calcio y magnesio, materia orgánica aceptable, alta saturación de sodio (19%); bajos contenidos de boro, zinc, hierro y manganeso; alta conductividad eléctrica; suelo salino-sódico.

Muestra No. 4

Suelo mineral, intermedio entre liviano y pesado, pH cercano a la neutralidad, bajo contenido de fósforo, materia orgánica aceptable; muy bajos contenidos de calcio y magnesio; extremadamente bajo el contenido de potasio; nivel alto de salinidad.

Muestra No. 5

Suelo mineral, pesado, pH muy alcalino, muy bajos contenidos de fósforo, materia orgánica, calcio y magnesio; mediano contenido de potasio; contenidos aceptables de boro, zinc y hierro. Parece haber inconsistencia con la presencia de aluminio.

Resumen de la Secuencia 3

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 nutrientes 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.

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**

Contenido

	Página
Objetivos	4-7
Información	4-9
• Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol	4-9
• Formas como el frijol absorbe los nutrimentos	4-10
• Formas de dar los resultados de los análisis químicos, las recomendaciones y el contenido de nutrimentos de los fertilizantes.	4-11
• Partes por millón (ppm)	4-11
• Miliequivalentes/100 g de suelo	4-11
• Métodos de conversión de unidades	4-13
• Objetivos y componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes	4-13
• Componentes de una recomendación para el uso de fertilizantes	4-14
• Cantidad o dosis del nutrimento para aplicar	4-15
• Disponibilidad de nutrimentos en el suelo	4-15
• Requerimientos nutricionales del cultivo de frijol ..	4-15
• Potencial de producción del frijol	4-15
• Eficiencia de los fertilizantes en función del suelo	4-15
• Naturaleza o tipo del fertilizante	4-16
• Epoca de aplicación	4-17
• Método o sistema de aplicación	4-18
• Otros aspectos importantes para tomar en cuenta al momento de formular las recomendaciones sobre uso de fertilizantes	4-18
• Formulación de una recomendación para el uso de fertilizantes en el cultivo del frijol - Ejemplo	4-20
• Fertilización foliar	4-25

	Página
• Encalamiento de los suelos	4-26
• Movimiento descendente del calcio y del magnesio	4-28
• Integración con otros factores de producción	4-28
Bibliografía	4-29
Ejercicio 4.1 Estudio de casos para la interpretación del análisis químico y recomendación para el uso de fertilizantes	4-31
• Objetivos	
• Recursos necesarios	
• Instrucciones	
• Hoja de trabajo	
• Información de retorno	
Resumen de la Secuencia 4	4-36
Evaluación final de conocimientos	4-37

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

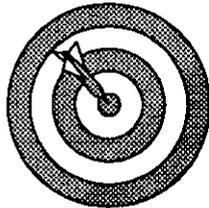
Estudio de casos para la interpretación del análisis químico y recomendación de fertilizantes

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

Resumen de la Secuencia 4

Objetivos

Al finalizar el estudio de esta secuencia los participantes podrán:



- ✓ Aplicar el concepto de requerimiento nutricional en la formulación de recomendaciones para el uso de fertilizantes en cultivos de frijol.
- ✓ Identificar los factores necesarios para elaborar una adecuada recomendación sobre el uso de fertilizantes y cal para el cultivo de frijol.
- ✓ Reconocer las unidades en que se indican los resultados del análisis químico y los contenidos de nutrimentos de los fertilizantes.
- ✓ Efectuar las conversiones de un sistema de unidades a otras usadas en los análisis químicos y en las recomendaciones.
- ✓ Elaborar recomendaciones para el uso de fertilizantes y cal utilizando los análisis químicos de suelos y los requerimientos nutricionales del cultivo de frijol.

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 nutrimentos

Los nutrimentos 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 4.1).

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

Cuadro 4.1. 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^{2+}
Mg	Mg^{2+}
S	SO_4^{2-}
B	BO_3H_2^-
Cl	Cl^-
Cu	Cu^{2+} , quelatos
Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+} quelatos
Mn	Mn^{2+}
Zn	Zn^{2+}

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. Ej: 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 4.2.

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.

Ej:

Calcio: Peso atómico 40 gramos Valencia 2

Entonces:

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

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

Por lo tanto:

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

Cuadro 4.2. 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 nutrientes que contienen figuran en la etiqueta del empaque del producto. Los más comunes son: nitrógeno (N), fósforo (P_2O_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 4.3 los factores de conversión de meq/100 g a kg/ha utilizando los valores de densidad aparente y la profundidad 0 - 20 cm.

En el Cuadro 4.4 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

Cuadro 4.3. 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

Cuadro 4.4. 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

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.

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:

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

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 (nitrato), 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 urea como fuentes de nitrógeno.

- Si el fertilizante es simple o complejo. Si es simple se utiliza como fuente de un nutrimento. Ej: la urea 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 9 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 encalamiento 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 nutriente, 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 nutrientes 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:

72 kg N/ha ___ 1 t frijol/ha

X 2.5 t frijol/ha

$$X = \frac{72 \times 2.5}{1} = 180 \text{ kg N/ha se requieren para producir 2.5 ton de frijol porrillo sintético/ha}$$

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 tres hectáreas. Su finca se encuentra localizada en una zona de alta precipitación. Los resultados del análisis químico del suelo son los siguientes:

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.

$$P = 2 \times 1.8 = 3.6 \text{ kg P/ha}$$

$$K = 0.2 \times 702 = 140 \text{ kg K/ha}$$

$$Ca = 2 \times 360 = 720 \text{ kg Ca/ha}$$

- 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:

$$N = 76 \text{ kg/ha}$$

$$P = 3.5 \text{ kg/ha}$$

$$K = 59.4 \text{ kg/ha}$$

$$Ca = 16.4 \text{ kg/ha}$$

$$Mg = 8.9 \text{ kg/ha}$$

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

$$1 \text{ t/ha} \quad 76 \text{ kg/ha}$$

$$2 \text{ t/ha} \quad X$$

$$X = \frac{2 \times 76}{1} = 152 \text{ kg N/ha}$$

Fósforo

$$1 \text{ t/ha} \quad 3.5 \text{ kg/ha}$$

$$2 \text{ t/ha} \quad X$$

$$X = \frac{2 \times 3.5}{1} = 7.0 \text{ kg P/ha}$$

Potasio

$$1 \text{ t/ha} \quad 59.4 \text{ kg/ha}$$

$$2 \text{ t/ha} \quad X$$

$$X = \frac{2 \times 59.4}{1} = 118.8 \text{ kg K/ha}$$

1/ Corella, F. Información personal.

Calcio

1 t/ha 16.4 kg/ha

2 t/ha X

$$X = \frac{2 \times 16.4}{1} = 32.8 \text{ kg Ca/ha} \\ \approx 33 \text{ kg Ca/ha}$$

Magnesio

1 t/ha 8.9 kg/ha

2 t/ha X

$$X = \frac{2 \times 8.9}{1} = 17.8 \text{ kg Mg/ha} \\ \approx 18 \text{ kg Mg/ha}$$

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

N = 152 kg/ha

P = 7 kg/ha

K = 119 kg/ha

Ca = 33 kg/ha

Mg = 18 kg/ha

- **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 nutrientes. También los porcentajes de saturación de los dos nutrientes son altos.
- 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, P₂O₅ y K₂O, 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 P₂O₅ y K₂O, 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 P₂O₅ estos 17 kg quedan como:

$$17 \text{ kg P/ha} \times 2.29 = 38.9 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$$

Se necesita pasar estos 38.9 kg de P₂O₅/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 P₂O₅, los cálculos se harán así:

$$46 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ en } 100 \text{ kg de SFT}$$

$$38.9 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \quad \times$$

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

Cuadro 4.5. 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%

Encalamiento de los suelos

El propósito principal del encalado es la neutralización de los iones Al³⁺ y H⁺ que se 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.

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. Toneladas cal/ha = meq Al/100 g x 1.65, si el % de M.O. es < 7.0
2. Toneladas cal/ha = meq Al/100 g x 2.3, 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 nutrimentos 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 del 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 (Ej: 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 nutrimentos 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.

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.
- 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. 1985. El diagnóstico de problemas en frijol. En: López, M.; Fernández, F.; Schoonhoven, A. van, eds. Frijol: Investigación y producción. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp- 385-401.
- 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.
- FOX, R.L. and KAMPRATH, E.J. 1971. Absorption and leaching of P in acid organic soils and high organic matter sand. Soil. Sci. Soc. Amer. proc. Vol. 35. pp. 154-156.
- KAMPRATH, E.J. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society America Proceedings 34. pp. 252-254.
- ORTEGA, J. 1985. Manejo de la acidez y enclamiento de los suelos. En: López, M.; Fernández, F.; Schoonhoven, A. van, eds. Frijol: investigación y producción. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 347-361.

- OTABBONG, E.; ; IZQUIERDO, M.M.L.; TALAVERA, S.F.T.;
GEBER; U.H.; OHLANDER, L.J.R. 1991. Response to P fertilizer
of *Phaseolus vulgaris* L. growing with or without weeds in highly
P-fixing mollic Andosol. Tropical Agriculture (Trinidad) Vol. 68
No. 4:339-343.
- SANCHEZ, P.A. Y SALINAS, J.G. 1983. Suelos ácidos: Estrategias para
su manejo con bajos insumos en América Tropical: Sociedad
Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá (Colombia). 324 p.
- TALAVERA, S.F.T. 1990. Response of Common Beans (*Phaseolus
vulgaris* L.) to P and N Fertilizers in fields trials. In: Talavera,
S.,F.T. Assessment of the impacts of P and N fertilizers on common
bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grow in a volcanic soil in pot and field
experiments. UPPSALA, Sweder, Swedish University of
Agricultural Sciences. Reports and dissertations. N. 2. pp. 1-10.

Ejercicio 4.1 Estudio de casos para la interpretación del análisis químico y recomendación para el uso de fertilizantes

Instrucciones

A continuación se detallará un caso de estudio para que cada participante lo resuelva en el término de una hora.

De acuerdo con los resultados del análisis de suelo adjunto (Cuadro 4.1), en un campo donde se pretende sembrar una variedad de frijol cuyos requerimientos nutricionales, para una producción de 1.2 tonelada de grano/ha, son:

N: 110 kg/ha

P: 20 kg/ha

K: 90 kg/ha

Mg: 30 kg/ha

Ca: 50 kg/ha

Haga:

1. La interpretación del análisis para P, K, Ca, Mg., de acuerdo con la tabla de niveles críticos _____

2. De acuerdo con los valores del análisis químico del suelo, indique si dicho campo es apto desde el punto de vista de fertilidad para sembrar en él frijol sin fertilización _____

3. Formule una recomendación para el uso de fertilizantes si se espera obtener 1.5 ton/ha de grano _____

ANALISIS QUIMICO DEL SUELO

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

ANALISIS TEXTURAL

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

Ejercicio 4.1 Información de retorno



1.

Materia Orgánica:	Alta
Fósforo:	Deficiente
Potasio:	Deficiente
Calcio:	Medio a bajo
Magnesio:	Medio a bajo
2. Sin fertilización este suelo no es apto, ya que presenta deficiencias de fósforo y potasio.
3.
 - Disponibilidad de nutrimentos
$$P = 2.3 \text{ ppm} \times 2.3 = 6.9 \text{ kg P/ha} \approx 7 \text{ kg P/ha}$$
$$K = 0.15 \text{ meq} \times 897 = 134.5 \text{ kg K/ha} \approx 135 \text{ kg K/ha}$$
 - Requerimientos del cultivo, para una producción de 1.2 t/ha
$$N: 110 \text{ kg/ha}$$
$$P: 20 \text{ kg/ha}$$
$$K: 90 \text{ kg/ha}$$
$$Mg: 30 \text{ kg/ha}$$
$$Ca: 50 \text{ kg/ha}$$

Si se desea obtener 1.5 ton, los requerimientos son:

$$N = 137 \text{ kg/ha}$$
$$P = 25 \text{ kg/ha}$$
$$K = 112 \text{ kg/ha}$$
$$Mg = 37 \text{ kg/ha}$$
$$Ca = 62 \text{ kg/ha}$$

- Eficiencia del fertilizante

N: 40%

P: 25%

K: 60%

- Cálculo de las necesidades de fertilización

Comparación entre disponibilidad y requerimientos:

Para P:

Disponibilidad = 7 kg < requerimiento = 25

La decisión es positiva para aplicar P

Diferencia: $25 - 7 = 18$ kg de P

Como la eficiencia de los fertilizantes fosfatados es de un 25% se tiene:

$$\text{Cantidad de P para aplicar} = \frac{18 \times 100}{25} = 72 \text{ kg}$$

O sea que hay que aplicar 72 kg de P/ha para poder conseguir los 18 kg de diferencia.

El paso final sería la transformación de las unidades P a P_2O_5 y así poner el P en términos de la fuente.

Para K:

Disponibilidad = 135 kg > requerimiento = 112 kg

No es necesario aplicar K

Resumen de la Secuencia 4

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.

Evaluación final de conocimientos

Orientaciones para el instructor

Al finalizar el estudio de la Unidad de Aprendizaje, el instructor realizará la evaluación final de conocimientos. El propósito de ésta es conocer el grado de aprovechamiento logrado por los participantes, o en qué medida se han cumplido los objetivos.

Una vez los participantes terminen la prueba, el instructor ofrecerá la información de retorno. Hay dos maneras de manejar esta información:

- El instructor revisa las respuestas de los participantes, asigna un puntaje y devuelve la prueba a éstos. Inmediatamente conduce una discusión acerca de las respuestas. Esta fórmula se emplea cuando la intención del instructor es hacer una evaluación sumativa.
- El instructor presenta las respuestas correctas a las preguntas, para que cada participante las compare con aquellas que él escribió. El participante se califica y el instructor recoge la información de los puntajes obtenidos por todo el grupo. Enseguida conduce una discusión sobre las respuestas dadas por los participantes, haciendo mayor énfasis en aquéllas en las cuales la mayoría de los participantes incurrieron en error. Esta fórmula se utiliza cuando la intención del instructor es hacer una evaluación formativa.

Tanto de una manera como de la otra, el instructor debe comparar el resultado obtenido en la exploración inicial de conocimientos con los de la evaluación final de conocimientos y de esta forma determinar el aprovechamiento general logrado por el grupo.

Evaluación final de conocimientos

Instrucciones para el participante

Esta evaluación contiene una serie de preguntas relacionadas con diferentes aspectos de la Unidad de Aprendizaje cuyo estudio usted ha terminado. Tiene por objeto conocer el nivel obtenido en el logro de los objetivos y estimar el progreso alcanzado por los participantes durante la capacitación.

Nombre: _____

Fecha: _____

1. ¿Por qué es importante conocer la densidad aparente del suelo?

2. Mencione cinco criterios para la delimitación de áreas de muestreo.

3. Mencione cuatro lugares donde no se debe de tomar submuestras de suelo. _____

4.. Describa en forma muy resumida los pasos que se tienen que dar para convertir meq/100 g de suelo a kg/ha _____

5. ¿Qué problemas podría presentar un suelo cuyo pH es de 4.5 para el cultivo del frijol? _____

6. ¿Cuáles son los nutrientes que el frijol absorbe en mayor cantidad? _____

7. Mencione los factores que determinan la cantidad de fertilizante para aplicar. _____

8. Explique brevemente cuáles son los criterios más prácticos para decidir sobre la necesidad de aplicar un fertilizante fosfórico. _____

Evaluación final de conocimientos - Información de retorno

1. Es importante conocerla porque a través de ella podemos conocer el peso real del suelo y evitar de esta forma subestimaciones o sobreestimaciones de la cantidad de fertilizantes y/o enmiendas para aplicar.

2.
 - Area de diferente topografía
 - Area de diferente color
 - Area con diferentes cultivos
 - Area de textura diferente
 - Area con diferente fertilización

3.
 - En la orilla de caminos
 - Cerca de casas o establos
 - Donde se han quemado residuos
 - Donde ha habido remoción de tierra

4. Se utiliza un cuadro que permite identificar el factor de conversión de meq/100 g a kg/ha, teniendo en cuenta la densidad aparente.

5.
 - Toxicidad de Al y Mn
 - Deficiencias de P, Ca, Mg, K, Mo y N

6. N, K y Ca

7.
 - Disponibilidad del nutrimento en el suelo
 - Requerimiento nutricional de la variedad que se va a utilizar
 - Potencial de producción del cultivo
 - Eficiencia de la fertilización

8. Criterio 1: Comparar la cantidad de P del análisis químico, con el nivel crítico.

Criterio 2: Comparar la cantidad de P en el suelo con el requerimiento de la variedad.

Anexos

Anexos

	Página
Anexo 1.	Recursos necesarios A-5
Anexo 2.	Evaluación del evento de capacitación A-7
Anexo 3.	Evaluación del desempeño de los instructores A-10
Anexo 4.	Evaluación de los instructores A-12
Anexo 5.	Formulario para solicitud de análisis de suelos A-16
Anexo 6.	Solicitud de análisis de suelos A-17
Anexo 7.	Aproximación de niveles críticos para análisis de suelos en frijol A-19
Anexo 8.	Informe de un análisis de suelos A-20
Anexo 9.	Exportación de nutrientes en las semillas, kg/ha, por cada 1000 kg de semilla A-21
Anexo 10.	Bibliografía recomendada A-22
Anexo 11.	Diapositivas que complementan la unidad A-25
Anexo 12.	Transparencias para uso del instructor A-26

Anexo 1 Recursos necesarios

La siguiente es la lista de recursos necesarios para el desarrollo de la Unidad:

- Un salón
- Pizarrón - borrador
- Tiza
- Láminas transparentes
- Pilot para láminas
- Proyector para láminas transparentes
- Papelógrafo
- Marcadores
- Formulario para evaluar expectativas
- Formulario para evaluación previa
- Hoja de respuestas
- Formulario con descripción de objetivos
- Lotes para práctica de muestreo de suelos, deseable de 15 ha
- Barrenos
- Palas
- Azadón
- Machetes
- Baldes plásticos
- Bolsas plásticas
- Etiquetas de identificación
- Lápices, libretas, papel
- Fichas de información para el laboratorio

- Transporte para trasladarse al sitio de muestreo
- Hojas con resultados de análisis químicos de suelo
- Tablas con niveles críticos

Anexo 2 Evaluación del evento de capacitación

Nombre del evento: _____ Evento N° _____

Sede del evento: _____ Fecha: _____

Instrucciones

Deseamos conocer sus opiniones sobre diversos aspectos del evento que acabamos de realizar, con el fin de mejorarlo en el futuro.

No necesita firmar este formulario; de la sinceridad en sus respuestas depende en gran parte el mejoramiento de esta actividad.

La evaluación incluye dos aspectos:

a) La escala 0, 1, 2, 3 sirve para que usted asigne un valor a cada una de las preguntas .

0= Malo, inadecuado.

1= Regular, deficiente.

2= Bueno, aceptable

3= Muy bien, altamente satisfactorio.

b) Debajo de cada pregunta hay un espacio para comentarios de acuerdo con el puntaje asignado. Refiérase a los aspectos POSITIVOS y NEGATIVOS. y deje en blanco los aspectos que no aplican en el caso de este evento.

1.0 Evalúe los objetivos del evento:

1.1 Según hayan correspondido a las necesidades (Institucionales y personales) que usted traía

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: _____

1.2 De acuerdo con su logro en el evento

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: _____

2.0 Evalúe los contenidos del curso según ellos hayan llenado los vacíos de conocimiento que usted traía al evento.

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: _____

3.0 Evalúe las estrategias metodológicas empleadas:

- 3.1 Exposiciones de los instructores
- 3.2 Trabajos en grupo
- 3.3 Cantidad y calidad de los materiales de enseñanza
- 3.4 Sistema de evaluación
- 3.5 Prácticas en el aula
- 3.6 Prácticas de campo/laboratorio
- 3.7 Ayudas didácticas (papelógrafo, proyector, videos, etc)
- 3.8 Giras/visitas de estudio

0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3

Comentario: _____

4.0 Evalúe la aplicabilidad (utilidad) de lo aprendido en su trabajo actual o futuro

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: _____

5.0 Evalúe la coordinación local del evento

- 5.1 Información a participantes
- 5.2 Cumplimiento de horarios
- 5.3 Cumplimiento de programa
- 5.4 Conducción del grupo
- 5.5 Conducción de actividades
- 5.6 Apoyo logístico (equipos, materiales papelería)

0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3

Comentario: _____

6.0 Evalúe la duración del evento en relación con los objetivos propuestos y el contenido del mismo

0	1	2	3
---	---	---	---

Comentario: _____

7.0 Evalúe otras actividades y/o situaciones no académicas que influyeron positiva o negativamente en el nivel de satisfacción que usted tuvo durante el evento

7.1 Alojamiento

7.2 Alimentación

7.3 Sede del evento y sus condiciones logísticas

7.4 Transporte

0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3
0	1	2	3

Comentario: _____

8.0 Exprese sugerencias precisas para mejorar este evento.

8.1 Académicas (conferencias, materiales, prácticas)

a. _____

b. _____

c. _____

8.2 No académicas (transporte, alimentación, etc)

a. _____

b. _____

c. _____

ACTIVIDADES FUTURAS

9.0 ¿Durante el desarrollo de este curso los participantes planificaron la aplicación o la transferencia de lo aprendido al regresar a sus puestos de trabajo?

¿En qué forma? _____

10.0 ¿Qué actividades realizará usted a corto plazo en su institución para transferir o aplicar lo aprendido en el evento? _____

11.0 ¿De qué apoyo (recursos) necesitará para poder ejecutar las actividades de transferencia o de aplicación de lo aprendido? _____

Anexo 3 Evaluación del desempeño de los instructores^{1/}

Fecha _____

Nombre del instructor _____

Tema(s) desarrollado(s) _____

Instrucciones:

A continuación aparece una serie de descripciones de comportamientos que se consideran deseables en un buen instructor. Por favor, señale sus opiniones sobre el instructor mencionado en este formulario, marcando una "X" frente a cada una de las frases que lo describan.

Marque una **X** en la columna **SI** cuando usted esté seguro de que ese comportamiento estuvo presente en la conducta del instructor.

Marque una **X** en la columna **NO** cuando usted esté seguro de que no se observó ese comportamiento.

Este formulario es anónimo para facilitar su sinceridad al emitir sus opiniones:

1. Organización y claridad

El instructor...	SI	NO
1.1 Presentó los objetivos de la actividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.2 Explicó la metodología para realizar la(s) actividad(es)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 Respetó el tiempo previsto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.4 Entregó material escrito sobre su presentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5 Siguió una secuencia clara en su exposición	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.6 Resumió los aspectos fundamentales de su presentación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.7 Habló con claridad y tono de voz adecuados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.8 Las ayudas didácticas que utilizó facilitaron la comprensión del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.9 La cantidad de contenido presentado facilitó el aprendizaje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Dominio del tema

2.10 Se mostró seguro de conocer la información presentada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.11 Respondió las preguntas de la audiencia con propiedad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¹ Para la tabulación del informe acerca de la evaluación del desempeño del instructor, referirse al Anexo 4 en donde se encuentran las instrucciones.

	SI	NO
2.12 Dio referencias bibliográficas actualizadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.13 Relacionó los aspectos básicos del tema con los aspectos prácticos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.14 Proporcionó ejemplos para ilustrar el tema expuesto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.15 Centró la atención de la audiencia en los contenidos más importantes del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 3. Habilidades de Interacción		
3.16 Estableció comunicación con los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.17 El lenguaje empleado estuvo a la altura de los conocimientos de la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.18 Inspiró confianza para preguntarle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.19 Demostró interés en el aprendizaje de la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.20 Estableció contacto visual con la audiencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.21 Formuló preguntas a los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.22 Invitó a los participantes para que formularan preguntas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.23 Proporcionó información de retorno inmediata a las respuestas de los participantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.24 Se mostró interesado en el tema que exponía	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.25 Mantuvo las intervenciones de la audiencia dentro del tema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 4. Dirección de la práctica² (Campo/Laboratorio/Taller/Aula)		
La persona encargada de dirigir la práctica...		
4.26 Preciso los objetivos de la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.27 Seleccionó/acondicionó el sitio adecuado para la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.28 Organizó a la audiencia de manera que todos pudieran participar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.29 Explicó y/o demostró la manera de realizar la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.30 Tuvo a su disposición los materiales demostrativos y/o los equipos necesarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.31 Entregó a los participantes los materiales y/o equipos necesarios para practicar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.32 Entregó a los participantes un instructivo (guía) para realizar la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.33 Supervisó atentamente la práctica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.34 Los participantes tuvieron la oportunidad de practicar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2 Se evalúa a la persona a cargo de la dirección de la práctica. Se asume la dirección general de la misma por parte del instructor encargado del tema en referencia.

Anexo 4 Evaluación de los instructores

Instrucciones

La evaluación del instructor --en general, dirigida por él mismo-- representa una información de retorno valiosa que le indica cómo ha sido percibido por la audiencia. El formulario que aparece en el Anexo 3 (Evaluación del desempeño de los Instructores) contiene en total 34 ítems que se refieren a cuatro áreas sobre las cuales se basa una buena dirección del aprendizaje. Todo instructor interesado en perfeccionar su desempeño debería aplicar a los capacitandos un formulario como éste. En los cursos que cuentan con muchos instructores, y donde cada uno de ellos tiene una participación limitada, de dos horas o menos, será necesario aplicar -esta vez por parte del coordinador del curso- un formulario más breve. En todos los casos la información recolectada por este medio beneficiará directamente al instructor.

Tabulación de datos y perfil de desempeño

En la página A-13 se presenta una reproducción de la hoja en que el instructor o el coordinador del curso escribe los datos que se obtienen del formulario de evaluación de instructores mencionado anteriormente (Anexo p. 143). Para esta explicación vamos a asumir que el formulario se ha aplicado a un total de 10 participantes.

Para tabular los datos se procede de la siguiente manera:

1. Por cada respuesta afirmativa se asigna un punto en la respectiva casilla. Sabiendo que fueron 10 los que contestaron el formulario, esto quiere decir que cada vez que se observen casillas con seis puntos o menos, el instructor podría mejorar en ese aspecto. Siguiendo el ejemplo, si el total de puntos para la primera fila de "Organización y Claridad" es 90 (100%) y un instructor es evaluado con un puntaje de 63 puntos (70%) indicaría que ésta es un área donde puede mejorar.
2. Con base en los datos de la tabulación se tramita el casillero central de la hoja, para establecer el porcentaje obtenido por el instructor en cada área evaluada.

En las casillas de 100% anote el puntaje que se obtendría si todos los participantes respondieran SI en todos los ítems. Para el caso de N = 10 tendríamos:

100%

90
60
100
90

En las casillas Número de Puntos se anota el puntaje “real” obtenido por el instructor en cada área, por ejemplo:

100%	No. puntos
90	45
60	40
100	80
90	60

Finalmente, se establece el porcentaje que el número de puntos representa frente al ‘puntaje ideal’ (100%) y se escribe en las casillas de %.

Cuando n=10

100%	No. puntos	%
90	45	50
60	40	67
100	80	80
90	60	67

3. En la rejilla del lado derecho se puede graficar la información que acabamos de obtener para un instructor determinado. También se puede indicar, con una línea punteada, el promedio de los puntajes de los otros instructores en el mismo evento de capacitación:

Este perfil le indicaría al instructor un mejor desempeño en “habilidades de interacción” y su mayor debilidad en la “organización y claridad”. También le indicaría que en las cuatro áreas evaluadas su puntaje es menor que el promedio del resto de los instructores del mismo evento.

- 4 El coordinador del curso puede escribir sus comentarios y enviar el informe, con carácter confidencial, a cada instructor. Así, cada uno podrá conocer sus aciertos y las áreas en las cuales necesita realizar un esfuerzo adicional si desea mejorar su desempeño como instructor.

Una buena muestra para evaluar está constituida por 10 participantes. En un grupo grande ($N = 30$) no todos los participantes deben evaluar a cada uno de los instructores. El grupo total puede así evaluar a tres de ellos.

Evaluación de los Instructores*

Informe

Nombre del instructor: _____ Tema(s): _____

Fecha: _____ Desarrollado (s): _____

Nº	100% Puntos				%			
	1	2	3	4	1	2	3	4

Nº	100% Puntos	%

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Organización y Claridad

10	11	12	13	14	15

Conocimiento del Tema

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

Habilidades de Interacción

26	27	28	29	30	31	32	33	34

Dirección de la Práctica

Comentarios del Coordinador _____

Perfil

%Puntos

*Promedio de Instructores se indica con una línea roja

Firma Coordinador Curso

Anexo 5 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		DESCRIPCIÓN DEL SUELO											
		TOPOGRAFIA					EROSION					DRENAJE	
No. de Lote	Muestras No.	Extensión (Mzs.)	Plano	Inclinado	Quebrado	Depresión	Ligera	Moderada	Fuente	No presentada	Buena	Regular	Mala

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 aparezcan en el croquis, deben corresponder con los que aparecen en las muestras.

Anexo 6 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:						
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						

Nota: Si las plantas en cualquiera de estos campos crecieron mal en el pasado, describa la anomalía específica.

Anormalidades

Observaciones

Anexo 7 Aproximación de niveles críticos para análisis de suelos en frijol

Determinaciones	Métodos	Niveles críticos	
		Deficiencias	Toxicidades
Saturación Al	$\frac{Al}{Al+Ca+Mg+K} \times 100$		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 8 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 9 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 10 Bibliografía recomendada

- AMARAL, F.A.L; REZENDE, H.E.C. DE , BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MALAVOLTA, E. 1980. Exigências de nitrogênio, fosforo e potassio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais de Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 37:223-239.
- BARTHOLOMEW, W.V.; KAMPRATH, E.J.; BOUL, S.W.; LUTZ, J.F.; COX, F.R.; SANCHEZ, P.A. 1973. Un Resumen de las Investigaciones Edafológicas en América Latina Tropical. Sánchez, P.A. (ed). Soil Science Department. North Carolina State University, Raleigh (USA). AID.
- BERTSCH, F. 1991. Nutrición Vegetal; Manejo. CINDE. Universidad de Costa Rica, San José de Costa Rica. 75p.
- CARDONA, C., C.A. FLOR, F. MORALES, M. PASTOR-CORRALES. 1981. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. 2a. ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia.
- FASSBENDER, H.M. 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central. IV. Capacidad de Fijación de Fósforo y su relación con características edáficas. Turrialba 19 (4), 497-505.
- FLOR, C.A., THUNG, M. 1989. Nutritional disorders. En: Schwartz, H.F.; Pastor-Corrales, M.A. Problemas de Producción de Frijol en el Trópico. 2a. ed. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. pp. 571-604
- FLOR, C.A. 1985. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol. En: Investigación y producción. PNUD-CIAT. 287-312 p.
- FLOR, C.A. 1985. El diagnóstico de problemas en frijol. En: "Frijol: Investigación y producción". PNUD-CIAT. pp. 385 - 400.
- HOWELER, R. 1980. Técnicas para establecer los requerimientos nutricionales en los cultivos. En: Curso para la Investigación en la Eficiencia de Fertilizantes en los Trópicos. CIAT - IFDC. Cali (Colombia). pp. 8-20.

- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). 1980. El Análisis de Suelos y las Recomendaciones de cal y Fertilizantes para diversos cultivos. Cuarta aproximación. Centro Experimental Tibaitatá. Bogotá (Colombia). (Documento preliminar para revisión).
- LOPEZ, R.J. 1972. El Diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de Campo y Laboratorio. 2a. ed. Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- LORA S.,R. 1981. Niveles Críticos para Elementos Menores en los suelos. pp: 32-34. En: ICA. Programa de Suelos. Informe de Progreso 1981. Bogotá (Colombia).
- MARIN M.,G.; ORTIZ R., G.; LORA S.,R., OWEN, E. 1975. El análisis de suelos y las recomendaciones de fertilizantes y cal. ICA. Programa de suelos. Bogotá (Colombia). (Boletín Técnico, 34).
- MARIN M., G. 1983. El análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. ICA. Programa de Suelos. Centro Experimental Tibaitatá. Bogotá (Colombia). (Boletín Técnico, 86).
- MUÑOZ A., R. 1985. La acidez y el enclamiento de los suelos. pp: 131-150. En: Memorias del II Seminario de Suelos y Fertilización de cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo - Secretaría Agropecuaria. Neiva, Huila (Colombia).
- OLIEIRA, I.P. De; THUNG, M. 1989. Nutrição Mineral. pp. 174-211. En: Cultura de Feijoeiro.
- ORTIZ, R.,G. 1986. Conozca los Fertilizantes que usted aplica. ICA. Programa de Suelos. Regional 5. Pasto (Colombia). (Boletín Divulgativo).
- PROGRAMA NACIONAL DE COSTA RICA. 1989. Informe Anual. PROFRIJOL. San José de Costa Rica.
- RAMIREZ V.,A. 1987. El análisis de suelos y su interpretación. pp 1-23. En: Seminario Taller sobre Suelos. ICA. Programa de Suelos - ATA - Cali.
- RAMOS, L. DE. 1984. Manual práctico de interpretación de análisis de suelo. Proyecto Hondureño de Investigación Agrícola (PMIA). CID/NMSU-AID. Ministerio de Recursos Naturales - Honduras. 30p.
- SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del Trópico: Características y Manejo. IICA. San José, Costa Rica.

- SILVA M.,F. (ed). 1991. Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá (Colombia). 324 p.
- THUNG, G. 1980. Requerimiento de los Elementos Nutricionales en Frijol. pp: __ **En:** Curso Intensivo de Adiestramiento en Investigación para la Producción de Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali (Colombia).
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. 1970. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Balasch, J. (Trad.) 5a. ed. Montanery Simon, Barcelona (España).

Anexo 11 Diapositivas que complementan la Unidad

SECUENCIA 2

- 2.1 Areas con basura o desechos
- 2.2 A orilla de los caminos o carreteras
- 2.3 Parches o zonas pedregosas
- 2.4 Cerca de canales
- 2.5 Areas donde se han efectuado quemas
- 2.6 Materiales para muestreo
- 2.7 Terreno antes de la toma de muestras
- 2.8 Limpieza del terreno para la toma de las muestras
- 2.9 Terreno listo para la toma de muestras
- 2.10 Muestreo utilizando pala
- 2.11 Apertura de hoyo en V.
- 2.12 Hoyo en V.
- 2.13 Toma de sub-muestras
- 2.14 Toma de sub-muestras
- 2.15 Depositando la submuestra en el balde
- 2.16 Homogenizando las submuestras en el balde
- 2.17 Uso del barreno para toma de submuestra
- 2.18 Uso del barreno para toma de submuestra
- 2.19 Colocación de la muestra en el balde tomada con barreno
- 2.20 Homogenización de la submuestra
- 2.21 Muestra en la bolsa, lista para ser enviada al laboratorio

1. Flujograma de actividades
2. Objetivo terminal
3. Exploración inicial de conocimientos-información de retorno

SECUENCIA 1

- 1.1 Flujograma de la Secuencia 1
- 1.2 Figura. Formas de determinar el volumen de un recipiente cilíndrico.
- 1.3 Cuadro. Peso en kg de 1 ha de suelo, a una profundidad de 0-20 cm y con diferentes densidades aparentes.
- 1.4 Cuadro. Peso en kg de 1 ha de diferentes clases de suelos a una profundidad de 0-20 cm.

SECUENCIA 2

- 2.1 Flujograma de la Secuencia 2
- 2.2 Figura. Selección de puntos de muestreo
- 2.3 Cuadro. Número de submuestras por área de muestreo.
- 2.4 Figura. Delimitación de las áreas de muestreo en una finca o campo de cultivo.
- 2.5 Figura. Uso del barreno, hueco para uso de pala, uso de pala y porción o tajada de suelo con espesor de 2-3 cm.
- 2.6 Figura. Características de la submuestra. (Es recomendable eliminar la parte indicada de la submuestra).

SECUENCIA 3

- 3.1 Flujograma de la Secuencia 3.
- 3.2 Cuadro. Clasificación y características de los suelos de acuerdo con los niveles de pH.
- 3.3 Cuadro. Criterios para considerar al Al como problema.
- 3.4 Cuadro. Clasificación de los suelos minerales según su contenido de materia orgánica.
- 3.5 Cuadro. Niveles críticos de P en el suelo según la metodología de extracción utilizada.
- 3.6 Cuadro. Clasificación de suelos de acuerdo con el contenido de K intercambiable (meq/100 g).
- 3.7 Cuadro. Tabla para interpretación de los valores de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.
- 3.8 Cuadro. Capacidad de intercambio catiónico según la textura del suelo.
- 3.9 Tabla para la interpretación del porcentaje de saturación de bases en el suelo $\frac{(Ca^{++} + Mg^{++} + K^+)}{CIC} \times 100$
- 3.10 Cuadro. Clasificación del suelo de acuerdo con la cantidad de calcio extraído con KCl 1.0 N.
- 3.11 Cuadro. Tabla de interpretación para la relación Mg/K en el suelo. Tablas para interpretación de los niveles de magnesio en el suelo en meq/100 g (Olsen modificado).
- 3.12 Cuadro. Niveles críticos de elementos menores para el cultivo del frijol.
- 3.13 Cuadro. Metodologías más utilizadas en América Central para hacer análisis de suelos.

SECUENCIA 4

- 4.1 Flujograma de la Secuencia 4.
- 4.2 Cuadro. Formas como el frijol absorbe los diferentes nutrimentos del suelo.

- 4.3 Cuadro. Factores de conversión de partes por millón (ppm) a kilogramos por hectárea (kg/ha) y a una profundidad de 0 - 20 cm, para suelos con diferentes valores de densidad aparente.
- 4.4 Cuadro. Factores de conversión de miliequivalentes por 100 gramos de suelos (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.
- 4.5 Ecuación de Fried y Broeshard.
- 4.6 Cuadro. Factores de conversión de la notación en forma de óxidos a la notación elemental.
- 4.7 Cuadro. Recomendaciones para el abono foliar en un cultivo de frijol semimecanizado.
- 4.8 Cuadro. Resultados de análisis químico del suelo.
- 4.9 Evaluación final de conocimientos-información de retorno.