

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

INSTITUTO DE POSTGRADO

**ESPECIALIZACIÓN EN SUELOS Y NUTRICIÓN DE
PLANTAS**

**EL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS UNA HERRAMIENTA
PARA DISEÑAR RECOMENDACIONES DE
FERTILIZACIÓN Y ENMIENDAS EN LOS CULTIVOS.**

**TESINA PRESENTADA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE ESPECIALISTA EN SUELOS Y NUTYRICIÓN DE PLANTAS**

ING. AGR. YAMIL EVERALDO CARTAGENA AYALA

QUITO - ECUADOR

2002

**EL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS UNA HERRAMIENTA
PARA DISEÑAR RECOMENDACIONES DE
FERTILIZACIÓN Y ENMIENDAS EN LOS CULTIVOS.**

APROBADO POR:


Dr. Venancio Arahana, Ph. D.

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE POSTGRADO.



Dr. Marcelo Calvache, Ph. D.

COORDINADOR DEL PROGRAMA DE SUELOS.



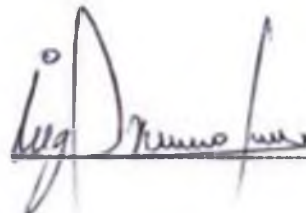
Dr. Marcelo Calvache, Ph. D.

DIRECTOR DE TESINA.




Ing. Vicente Novoa, M. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL.



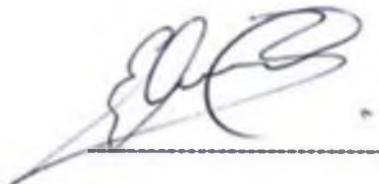
Ing. Magdalena López, M. Sc.

1 er. VOCAL PRINCIPAL DEL TRIBUNAL.



Ing. Arturo Orquera, M. Sc.

2 do. VOCAL PRINCIPAL DEL TRIBUNAL.



2002

DEDICATORIA

A mis padres :

Gladys y Manuel

por enseñarme el respeto a las personas, la responsabilidad que se debe tener en los compromisos, el amor para el trabajo, el afán de superarse, el carácter para resolver los problemas, imponer la disciplina necesaria, y la dignidad que debemos tener todos los hombres...

A mis hermanos:

María

Emersson

Daniel

por ser mis compañeros en el recorrido de esta vida, brindarme su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

El autor deja constancia de su agradecimiento a todas las personas que impartieron sus conocimientos para la labor de producir alimentos en beneficio de la humanidad, de manera especial:

- A los profesores del Postgrado de la Especialidad en Suelos y Nutrición de Plantas de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, los cuales aportaron con sus conocimientos y experiencias en nuestra formación profesional.
- Al Dr. Marcelo Calvache, director de tesina; por sus valiosos aportes científicos en la ejecución de este trabajo.
- Al Ing. Franklin Valverde, jefe de Departamento de Manejo de Suelos, Plantas y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias; por compartir sus experiencias en la investigación agrícola para la realización de este trabajo.
- Al personal del Departamento de Manejo de Suelos, Plantas y Aguas; por su decidida colaboración en la realización de este trabajo.
- A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con sus aportes en la realización de esta tesina.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	3
A. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	3
1. MUESTREO DE SUELOS.	3
2. CALIBRACIÓN Y CORRELACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	10
a. SOLUCIONES EXTRACTANTES.	10
b. CORRELACION DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	12
c. CALIBRACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	14
d. NIVELES CRÍTICOS.	14
3. PARÁMETROS DESCRITOS EN EL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	20
a. TIPOS DE ANÁLISIS DE SUELOS.	20
b. DETERMINACIONES FISICAS Y QUÍMICAS.	20
4. UNIDADES EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	29
5. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS CULTIVOS.	38
6. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.	41
7. CALCULO DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA.	49
B. FERTILIZANTES QUÍMICOS, ABONOS ORGÁNICOS Y ENMIENDAS.	61
1. FERTILIZANTES QUÍMICOS.	61
2. ABONOS ORGANICOS.	77
3. ENMIENDAS.	82
III. PROCEDIMIENTOS.	85
IV. RESULTADOS.	87
A. RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ENMIENDAS EN LA HOJA DE CALCULO EXCEL.	87
V. CONCLUSIONES.	88
VI. BIBLIOGRAFÍA.	89
VII. ANEXOS.	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°.		Página
1	Métodos de labranza y profundidad de muestreo de suelos.	6
2	Interpretación de tres niveles críticos.	17
3	Interpretación de dos niveles críticos.	18
4	Niveles críticos para la interpretación de los análisis químico de suelos.	19
5	Métodos y Extractantes utilizados en la determinación física y química de los elementos extraídos del análisis químico suelos.	28
6	Valores de la densidad aparente de varios suelos en diferentes texturas.	29
7	Constantes para transformar los elementos extraídos del análisis químico de suelos a fórmulas que se presentan los fertilizantes químicos y/o viceversa.	31
8	Equivalentes y miliequivalentes gramos de los elementos que en el análisis químico de suelos se expresan con esta unidad.	32
9	Transformación de meq/100 g de suelo a kg/ha de las bases cambiables y aluminio intercambiable.	33
10	Transformaciones entre unidades que se utilizan en el análisis químico de suelos.	37
11	Requerimientos nutricionales de varios cultivos: cereales, tubérculos, hortalizas, leguminosas y oleaginosas.	39
12	Requerimientos nutricionales de varios cultivos: estimulantes, frutales y pastos.	40
13	Relaciones de las bases cambiables.	45
14	Eficiencia de utilización de los fertilizantes químicos para algunos suelos y cultivos.	48
15	Análisis químico de suelos.	49
16	Niveles Críticos para la interpretación del análisis químico de suelos en el cultivo de la papa.	49
17	Análisis químico de suelos con la interpretación de los niveles críticos para el cultivo de la papa.	50
18	Tabla guía de recomendaciones de fertilización química para el cultivo de la papa.	50

19	Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Tabla Guía para el cultivo de la papa.	50
20	Reserva de fertilización química para el cultivo de la papa.	51
21	Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos simples.	51
22	Recomendación final utilizando fertilizantes químicos simples para el cultivo de la papa.	52
23	Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos simples y compuestos.	53
24	Recomendación final utilizando fertilizantes químicos simples y compuestos para el cultivo de la papa.	55
25	Requerimientos nutricionales para el cultivo de la papa.	55
26	Necesidad efectiva de nutrientes para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).	57
27	Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).	57
28	Necesidad efectiva de nutrientes para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por CALVACHE (6).	60
29	Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por CALVACHE (6).	60
30	Comparación entre Recomendaciones de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Tabla Guía, Demanda y Disponibilidad.	60
31	Caracterización de los fertilizantes.	61
32	Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos.	63
33	Límites de la humedad relativa crítica, a partir los cuales determinados fertilizantes absorben el vapor de agua de la atmósfera.	67
34	Equivalentes de acidez o basicidad residual, índices de salinidad y pH de la solución saturada de los fertilizantes.	69
35	Localización y método de aplicación de fertilizantes químicos.	74

36	Composición química de estiércoles utilizados como abono.	78
37	Cantidad de residuos vegetales dejados por algunos cultivos y su relación C/N.	79
38	Composición química de los residuos de la agroindustria.	79
39	Leguminosas cultivadas y sus correspondientes grupos de Rhizobium.	80
40	Valores promedios de nutrientes del compost.	80
41	Composición química del humus de lombriz.	81
42	Fuentes de calcio y magnesio útiles para el encalado.	84

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°.		Página
1	Herramientas requeridas para el muestreo de suelos.	92
2	Número de muestras compuestas que deben tomarse en un campo, de acuerdo a las condiciones, manejo y topografía del suelo.	93
3	Profundidad de toma de la muestra de suelo.	94
4	Recorrido en zig-zag para recolectar la muestra de suelo.	95
5	Forma de sacar la submuestra con la pala y depositarla en la cubeta.	96
6	Forma de pasar el suelo de todas las submuestras de una de las cubetas de plástico respectivo, y paso de la muestra compuesta a la caja o bolsa para el laboratorio.	97
7	Hoja de información de la muestra para el análisis químico de suelos.	98
8	Determinación del nivel crítico del fósforo disponible, mediante la aplicación del método de rendimiento máximo.	99
9	Determinación del nivel crítico del fósforo disponible, mediante la aplicación del método de Cate y Nelson.	100
10	Triángulo de texturas.	101
11	Disponibilidad de nutrientes con relación al pH.	102
12	Compatibilidad de los fertilizantes químicos.	103
13	Localización de los fertilizantes químicos.	104
14	Fertigrama.	105
15	Fertigrama con los resultados de las determinaciones químicas y físicas del laboratorio.	106
16	Fertigrama con las recomendaciones de fertilización química.	107
17	Hoja de cálculo EXCEL. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Tabla Guía.	108
18	Hoja de cálculo EXCEL. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).	109
19	Hoja de cálculo EXCEL. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por CALVACHE (6).	110

I. INTRODUCCIÓN.

El análisis de suelos es una herramienta esencial para el agricultor que usa prácticas adecuadas de manejo del cultivo para obtener rendimientos altos, sostenidos y rentables. El análisis de suelo, cuando se usa en conjunto con otra información de soporte, es una guía indispensable para llegar a diseñar recomendaciones que permitan el uso eficiente de fertilizantes y enmiendas (12).

El análisis de suelo cumple con dos funciones básicas:

- Indica los niveles nutricionales en el suelo y, por lo tanto, es el punto de partida para desarrollar un programa de fertilización. Se puede diseñar un programa exitoso combinando la información del análisis de suelo con información sobre el historial del campo o del sistema de cultivo, el potencial global de productividad del suelo y la capacidad de manejo del agricultor (13).
- El análisis de suelo puede también utilizarse en forma regular para monitorear los cambios nutricionales del suelo, manteniendo así la fertilidad global del sistema, en la búsqueda de rendimientos altos sostenidos, con un alto potencial de rentabilidad (13).

No se debe considerar el análisis de suelo como un gasto sino como una inversión. Es necesario recordar, que la práctica de la fertilización de cultivos se inicia con el análisis de suelo, continúa, si es necesario, con la corrección de la acidez y termina cuando se pone el fertilizante en el suelo (12).

Se debe mantener la confianza en el análisis de suelo, pero debemos evitar el crear la impresión de que el análisis de suelos **“hace milagros”**. El análisis es una herramienta muy útil en el diagnóstico de las condiciones del suelo, como lo es el termómetro o el estetoscopio para el médico. El uso e interpretación de todas estas herramientas requiere de habilidad y sentido común (12).

Dos factores son esenciales en el análisis de suelo:

- Obtener muestras representativas. El análisis en el laboratorio no es mejor que la muestra obtenida en el campo.
- Estudios de correlación y calibración para interpretar los resultados de los análisis de suelo.

Según sean las características de detalle y especificidad de los estudios de calibración y correlación de los que surgen la Tablas de Niveles Críticos, así será la precisión con que se pueda interpretar los análisis de suelos. Los niveles críticos varían según la solución extractora, según el tipo de suelo y según el cultivo, por lo tanto, antes de realizar una interpretación es necesario tomar en cuenta con qué soluciones se realizó el análisis, y con qué Tabla de Niveles Críticos se cuenta (4).

Otra consideración que se debe hacer en los análisis de suelos es sobre las unidades en que están expresados. La expresión de contenidos de nutrimentos por volumen de suelo podría considerarse una medida menos variable y más comparable entre suelos, porque el volumen de una hectárea a una determinada profundidad (0.20 m) no varía (siempre es 2 000 000 de litros), mientras que el peso cambia con la densidad aparente. Sin embargo, son unidades transformables de una a otra:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Con una comparación entre el Análisis Químico de Suelos y la Tabla de Niveles Críticos la mayor parte de la interpretación parece estar resuelta, ya que se puede decir cuales problemas tiene ese suelo, que es hasta donde precisamente se puede concluir con un análisis de suelos, sin embargo, en el tanto en que se trate de entender la causa de esos problemas, será posible mejorar las decisiones para subsanarlas (4).

Otra forma de realizar la interpretación y recomendación de fertilizantes, es basándose en el cálculo de la disponibilidad nutricional en el suelo y la demanda del cultivo (4, 6, 7).

El análisis de suelo continuará siendo una de las más importantes prácticas de manejo en la producción de cultivos y en protección ambiental. Con seguridad, ésta será una de las prácticas adecuadas de manejo (PAM) utilizadas universalmente por extensionistas, consultores y técnicos a cargo del manejo agronómico de fincas y empresas agrícolas. Con esto el ambiente también se beneficia ya que mejora el manejo del recurso suelo y de los insumos necesarios en la producción (13).

A. OBJETIVOS.

1. GENERAL.

Diseñar recomendaciones que permitan el uso eficiente de fertilizantes químicos y enmiendas mediante el uso de una herramienta esencial como es el análisis químico de suelos para obtener rendimientos altos, sostenidos, rentables y ambientalmente responsables en los cultivos.

2. ESPECIFICOS.

- a. Describir e interpretar la información que se presenta en un análisis químico de suelos.
- b. Realizar recomendaciones de fertilización química y enmiendas en el cultivo de papa, utilizando el análisis químico de suelos.
- c. Desarrollar recomendaciones de fertilización química y enmiendas en el cultivo de papa, basándose en el análisis químico de suelos en una hoja de cálculo EXCEL.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

A. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.

1. MUESTREO DE SUELOS.

a. CRITERIOS DEL MUESTREO DE SUELOS.

Es importante que comprendamos el papel que juega el muestreo de suelos en la evaluación de la fertilidad del suelo, ya que el análisis no tendrá ningún valor si las muestras que se toman no representan realmente el suelo de sus campos (14).

El muestreo adecuado es una etapa muy importante en los estudios de evaluación de la fertilidad del suelo, y se realiza con el propósito de conocer previo y/o durante el crecimiento del cultivo, su grado de fertilidad natural (14).

El obtener una muestra de suelo que sea representativa del área a estudiarse, constituye un problema que desgraciadamente no ha podido ser superado, a pesar de los esfuerzos realizados en este campo por las Instituciones del Estado encargadas de la difusión de Técnicas Agropecuarias. Se puede decir que este aspecto constituye un limitante no solo en el ámbito del agricultor, sino inclusive en el profesional. Esta aseveración tiene plena validez si consideramos que al laboratorio llegan muestras de suelos que contienen menos de 100 g en unos casos y más de 20 kg en otros. Esto simplemente indica que si el usuario no tiene idea de la cantidad de muestra necesaria para los diferentes análisis, mal puede conocer las técnicas adecuadas de muestreo, que permitan obtener una muestra representativa del área a estudiarse (15).

No debemos olvidar que la mayor fuente de error proviene de esta etapa y que lógicamente repercutirá negativamente en los resultados del análisis químico realizado por el laboratorio de suelos, que se limita a efectuar los análisis químicos de la muestra de suelo sin conocer si la misma fue bien tomada o no. De lo anterior se deduce la gran responsabilidad que recae sobre la persona que realiza el muestreo de suelos (14).

b. INSTRUCCIONES PARA TOMAR MUESTRAS DE SUELOS.

La toma adecuada de las muestras de suelos para su análisis, tiene tanta importancia como la exactitud de las determinaciones de laboratorio o el criterio de interpretación de los resultados. Por consiguiente, es necesario que las personas que realicen esta tarea se ajusten a las instrucciones que para tal efecto se recomiendan, con el objeto de obtener una información más exacta (2).

1). Materiales y herramientas para el muestreo de suelos.

Se pueden usar varios materiales y herramientas como:

- Azadón, pala, pico, machete para abrir los agujeros a las profundidades deseadas, en caso de que no se cuente con barrenos especiales para diferentes clases de texturas de suelos.
- Cinta métrica para medir la profundidad de muestreo de suelo.
- Cubeta plástica para depositar el suelo de las muestras.
- Plástico para homogeneizar la muestra de suelo.
- Un mazo de madera dura o plástico para romper los terrones arcillosos.
- Cajas de cartón, fundas de plástico ó fundas de papel especiales para depositar las muestras.
- Formularios para identificar cada muestra de suelo.
- Costales o cajas para guardar las cajas o fundas de plástico con suelo, que se van llenando. Estos materiales se presentan en el anexo 1 (14).

2). Muestra representativa de suelo.

Una muestra de suelo es una mezcla de varias submuestras más pequeñas, obtenidas en distintas partes de un lote hasta cubrir toda el área el terreno. Cuando se toma una muestra de suelo, se deben recoger suficientes submuestras en toda el área del terreno para asegurar una información más precisa del nivel de fertilidad del área en estudio (2, 13).

La muestra de suelo debe pesar aproximadamente de 1 kg, cantidad que puede representar 5 a 10 hectáreas de terreno que contienen por lo menos 2 000 000 de kg de suelo en la capa arable (20 cm de la profundidad del suelo). Por lo tanto, la porción de suelo representativa del lote debe tomarse muy cuidadosamente para que represente el área total del mismo (2).

Una muestra que se recoja en un solo punto del terreno, dará información únicamente acerca de este punto y no acerca del área total. La muestra de suelo debe incluir por lo menos a 20 lugares diferentes de un campo o área de 10 hectáreas o más, según la homogeneidad en características visuales y de manejo. Una muestra que incluya muy pocos puntos del área puede dar información falsa sobre la fertilidad general del terreno y las cantidades de cal y de los fertilizantes químicos que se recomiendan sobre esas bases pueden ser, por tal motivo, erradas (2).

3). Cuándo tomar las muestras de suelo.

Las muestras de suelo deben tomarse 2 o 3 meses antes de sembrar. En esta forma se obtendrá de esta práctica la información del análisis del suelo con tiempo suficiente para obtener los fertilizantes químicos necesarios y hacer las aplicaciones oportunamente. Esta práctica es muy importante en áreas que se van a dedicar a pastos, ya que si es necesaria la aplicación de cal, esta se mezclará con el suelo al incorporarla con la rastra para obtener mayores beneficios. En pastos ya establecidos, la mejor época para analizar el suelo y aplicar fertilizantes químicos, es 2 meses antes de comenzar el periodo de máximo crecimiento (2).

Las muestras de suelos para la mayoría de las cosechas deben recolectarse cada 1 ó 2 años; para el caso de hortalizas o cultivos de alto valor comercial, es necesario realizarlo con más frecuencia (2).

El momento más oportuno para la obtención de las muestras es cuando el suelo tiene el grado de humedad apropiado para las labores agrícolas. Si existe necesidad de estas cuando el suelo esté muy húmedo, se extienden sobre papel limpio, o sobre un plástico y se secan al aire a temperatura ambiente, antes de enviarlas al laboratorio. Debe evitarse el uso de calor artificial para acelerar el secamiento de las muestras (2).

4). Oportunidad de la toma de muestra de suelo.

Por lo general los análisis de suelo deben ser realizados en todos los campos, por lo menos cada 2 a 4 años, pero los suelos en donde se cultivan hortalizas o cultivos de alto valor comercial pueden requerir ser analizados anualmente (16).

Realmente no existe gran diferencia si se realizan muestreos en campos de algodón, maíz, trigo o soya, el tiempo ideal para muestrear es justo después de la cosecha. Por lo general, en ese período del año, los campos son de fácil acceso, siendo fácil la obtención de muestras representativas (16).

Debido a las variaciones en la disponibilidad de los nutrientes que pudieran estar asociadas con el tiempo de muestreo se sugiere que, en un área determinada, el muestreo anual se haga alrededor del mismo periodo (16).

Sin embargo, las muestras tomadas con propósitos de diagnóstico (respuesta a la fertilización, crecimiento pobre del cultivo, evaluación de las condiciones del suelo) es mejor obtenerlas mientras las áreas con problemas se encuentran delineadas por el cultivo u otras referencias visuales (16).

5). Dónde tomar las muestras de suelos.

Si el predio es uniforme en apariencia y producción, así como en el manejo a que se ha sometido durante los últimos años, se puede considerar como una unidad (similar topografía, color del suelo, textura, profundidad, tipo de vegetación o cultivo, manejo, rocas, ríos u otros factores) para la extracción de la muestra. En estas circunstancias, las áreas no deben sobrepasar una superficie de 10 hectáreas. Cuando el área sea mayor, deberá dividirse en unidades de este tamaño. En el anexo 2 se indica la forma de acopiar muestras de suelos (2, 4).

Cuando el predio presente cambios en apariencia y producción, como consecuencia de la variación de los tipos de suelo, de la conformación topográfica, de la cantidad de erosión, de la clase de drenaje, del tratamiento agrícola de los últimos años, es necesario dividir la finca en áreas que contemplen estas variaciones para coleccionar las muestras. Es conveniente evitar aquellas áreas muy pequeñas que difieren mucho del resto del campo, y que por su tamaño no tengan significación en la producción de cultivos. En aquellos casos que por razones especiales interesa obtener una información analítica de estos sitios, es necesario obtener una muestra individual de esos lugares (2).

Al extraerse muestras de suelo en lotes con cosechas cultivadas en surcos, deben provenir de éstos o de los camellones y no de la banda del fertilizante ni de áreas de antiguos canales, carreteras o caminos. Tampoco de sitios donde existan residuos de paja o de quemas. Es necesario evitar, igualmente, recogerlas en el límite de los cambios de pendientes entre tierras planas y quebradas o en la orilla de las cercas inmediatas a los árboles, en parches pantanosos o en cualquier otra área de uso poco común que no sea representativa (2).

6). **Profundidad de muestreo.**

La profundidad requerida de la muestra está influenciada por muchos factores los cuales se discuten en ésta sección (anexo 3) (16).

a). **Método de labranza.**

En el cuadro 1 se aprecia los diferentes métodos de labranza y las profundidades de muestreo de suelos.

Cuadro 1. Métodos de labranza y profundidad de muestreo de suelos.

Método de labranza	Profundidad de muestreo
Convencional	Profundidad de barbecho
Labranza reducida	$\frac{3}{4}$ de la profundidad de labranza
Si existen problemas nutricionales	0-10cm y 10-20 cm
Camellón continuo	0 a 15 cm en el camellón
	0-10 cm en parte baja
Labranza cero	0-20 cm
para medir pH	0-5 cm
Colocación profunda	Profundidad de arado y mayor
Colocación en banda	Profundidad del arado

b). **Cultivo.**

En general, las muestras se toman a la profundidad en donde se encuentra el sistema radicular.

- **Praderas y céspedes establecidos.**

La profundidad de muestreo del suelo es de 7.5 a 10 cm, lo que constituye la profundidad real de enraizado. La muestra de suelo no debe incluir raíces y material orgánico acumulado en la superficie (16).

- **Huertos.**

La mayor actividad de la raíz se presenta a una profundidad de 20 a 25 cm. La profundidad de muestreo de estos suelos debe hacerse entre los 25 a los 30 cm, tomadas al borde de la zona de goteo. Se toma un cilindro de muestra cada 15 o 16 árboles seleccionados en forma aleatoria en el huerto. Mezclar las muestras para obtener una muestra compuesta, la cual debe provenir de un área no mayor a 10 hectáreas (16).

- **Camas de flores.**

Una muestra de suelos por cada 9.0 m², consistente de 3 cilindros tomados a una profundidad de 15 cm.

- **Jardín de hortalizas.**

Muestreos de suelos de hasta 15 cm de profundidad en varios lugares y formar una muestra compuesta.

- **Arbustos y árboles pequeños.**

Se deben tomar las muestras de suelos al borde de la extensión de las ramas, a una profundidad de 10 a 15 cm.

c). Muestreo para nitrógeno nitrato, nitrógeno amonio y sales solubles.

Después de haber tomado la muestra de suelo, ésta se almacena húmeda y caliente, pueden ocurrir cambios rápidos en los niveles de nitratos y amonio. Es aconsejable secar la muestra a 40-50 °C para su transporte, a menos que se refrigere (16).

Debido a que el nitrógeno nitrato se lixivia fácilmente, se requieren muestreos más profundos para determinar en forma efectiva el nitrógeno total disponible en el suelo; realizar un muestreo de 60 a 90 cm de profundidad, con muestras tomadas a incrementos de 17.5 a 30 cm, para formar muestras compuestas. El muestreo para sales solubles debe hacerse de acuerdo a las instrucciones para el muestreo de nitratos. El suelo debe ser secado al aire antes del envío o de que sea almacenado por algún tiempo (16).

d). Muestreo del subsuelo.

El muestreo del subsuelo frecuentemente tiene gran valor y las muestras pueden colectarse para explicar patrones de crecimiento inesperado, resultantes ya sea de características químicas o físicas de estos horizontes. Este muestreo también es importante en áreas en las que se manejan cultivos con enraizado profundo, los cuales obtienen la mayoría de sus nutrientes a estas profundidades (16).

Para estimar el nitrógeno del suelo disponible para uso del cultivo, es necesario determinar los niveles de nitrógeno nitrato. Al anticiparse problemas de sodio o de salinidad, se pueden tomar muestras separadas desde la profundidad de arado y del subsuelo (16).

7). Muestreo en el campo.

Antes de realizar el muestreo, es básico fijar los límites de las unidades de muestreo de acuerdo a los criterios señalados anteriormente, por lo que el primer paso para efectuar un muestreo consiste en hacer un recorrido de reconocimiento por todo el terreno. Una vez definidos los límites, estos servirán como puntos de referencia para la futura interpretación de los resultados, por lo que es necesario hacer un croquis o mapa de la finca, e indicar en el mismo el número asignado a cada unidad (4).

Se procede luego a realizar el muestreo de cada unidad, efectuando un recorrido en zigzag para tratar de abarcar la mayor parte del área (anexo 4); en cada extremo del zigzag se toma una submuestra que es colocada en un recipiente para su posterior homogenización y “cuarteo” con el fin de obtener la muestra compuesta. Se debe tener especial cuidado en mantener la profundidad y el volumen homogéneos al momento de tomar la muestra en cada punto (4).

Cuando la herramienta usada es una pala se procede como se observa en el anexo 5: se raspa aproximadamente 1 cm de la superficie del suelo para eliminar los residuos frescos de materia orgánica, polvo de la carretera u otras contaminaciones artificiales; se cava un hueco en forma de V, cuyo tamaño aproximado sea del ancho de la pala y tenga una profundidad de 20 cm. Luego se corta una tajada de suelo de 2 a 3 cm de grueso en la pared del hueco y se toma una faja de unos 3 a 5 cm de ancho en el centro de la tajada. Se coloca esta faja de suelo en la cubeta plástica y se repite la operación en 15 ó 20 lugares (submuestras) del área delimitada para la extracción de la muestra completa (anexo 6) (2).

Al muestrearse con barrenos o sacabocados, al final de las 15 ó 20 perforaciones ya se ha obtenido la tierra necesaria para formar un volumen alrededor de 1 kg de peso. En cambio, cuando se saca la muestra con la pala, la tierra recogida constituye una cantidad demasiado grande para la muestra. Una combinación de varias submuestra pequeñas, cada una seleccionada de una parte homogénea del total, da información más precisa que una simple muestra más grande (2).

El “cuarteo” consiste en la disminución sistemática de la cantidad de muestra mediante su división en cuartos, sobre un plástico extendido, y la eliminación progresiva de los cuartos opuestos hasta obtener la cantidad de suelo necesaria para llenar la caja de cartón con cerca de unos 500 g de suelo seco al aire (2, 4).

Las muestras no deben empacarse en fundas plásticas que hayan sido usadas con fertilizantes o sustancias químicas. No se debe fumar o dejar caer cenizas de cigarrillo al manipular las muestras, las cuales se identifican enumerándolas y escribiéndoles el nombre y la dirección correspondientes (2).

8). Información de la muestra.

Es importante llenar lo más exactamente posible la hoja de información sobre las muestras de suelos, porque esto ayudará especialmente en la formulación de las recomendaciones de fertilización química, orgánica y enmiendas que cada agricultor necesita. Si las muestras corresponden a varias fincas, no deben usarse los mismos números para identificarlas (2).

Los datos que se deben suministrar por cada muestra son los siguientes: nombre y dirección completa del solicitante, nombre y ubicación en la finca (provincia, cantón, parroquia, etc.), tipo de análisis solicitado, profundidad de la toma de la muestra, superficie que representa y cultivo para el cual se requiere recomendación de fertilización química, orgánica y enmiendas (2).

También se debe señalar: si el drenaje interno es, bueno, regular o malo; si se ha agregado cal en los últimos años en el suelo; si se va a aplicar riego y cuáles son los cultivos sembrados en los últimos dos años; qué tipos de fertilizantes químicos se han utilizado y a razón de cuántos kilogramos por hectárea, mencionando el rendimiento de los cultivos, con o sin fertilizantes, y añadiendo observaciones y cualquier otro dato que el técnico considere pertinente y útil (2).

Es importante conservar una copia de la información que acompaña a la muestra y del análisis de los suelos, junto con el registro de los rendimientos de la cosecha y las aplicaciones de cal y fertilizantes químicos. Tal información mostraría los efectos de estos elementos sobre la acidez y el nivel de fertilidad del suelo. También proporciona esa información un mejor entendimiento acerca de cómo los suelos responden a los diferentes tratamientos y prácticas de cultivo, obteniéndose así las bases para aumentar la productividad de las tierras (anexo 7) (2).

Es conveniente tener un mapa de la finca, en el cual se indiquen los lotes y las áreas en donde se han tomado las muestras de suelos, numeradas claramente, para conservar los registros del análisis químico de suelos (2).

9). Errores de muestreo.

Los principales errores en los que se puede incurrir al realizar el muestreo son los siguientes:

- Variaciones en la profundidad del muestreo.
- Combinación de áreas diferentes en una muestra compuesta.
- Combinación en una muestra compuesta de áreas similares pero con diferentes historiales de encalado, fertilización química o cultivos.
- Combinación de submuestras en cantidades insuficientes en una sola muestra de terrenos extremadamente variables.
- Intentar el uso de muestras simples en una superficie grande.
- Cantidades variables de materia orgánica o material orgánico no descompuesto en la muestra de suelo.
- Presencia de rocas blandas en la muestra.
- Presencia de materiales de fertilización química o encalado, aplicados en forma inapropiada o que no han sido bien mezclados con el suelo: material que se encuentra todavía en la superficie del suelo; materiales gruesos no disueltos o no solubles al extracto; fertilizantes aplicados al surco que no constituyen una proporción adecuada de la muestra.
- Suelos que hayan sido muestreados en envases contaminados.
- Empaque inadecuado de las muestras, que permitan que los contaminantes se conviertan en parte de la muestra.
- Confusión en la identificación de la muestra de suelo (16, 4).

2. CORRELACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.

a. SOLUCIONES EXTRACTANTES.

La elección de una u otra solución extractora para un elemento dado se basa en la mayor o menor asociación entre la cantidad del elemento extraído por la solución y lo que realmente extrae la planta. En términos prácticos, una solución extractora será eficiente o adecuada cuando a valores altos de extracción correspondan también valores altos de absorción del elemento y cuando los valores bajos de extracción coincidan con una baja absorción del elemento por la planta. El caso contrario supondrá una eficiencia baja o nula (4).

Una fracción muy pequeña de los nutrimentos que toma la planta, se encuentra en la solución del suelo, por lo que debe ser abastecida continuamente por la fase sólida, que actúa como reservorio. Estos reservorios pueden ser: el complejo de intercambio, los sólidos inorgánicos parcialmente solubles, los compuestos orgánicos mineralizables, los iones adsorbidos y los complejos organo-metálicos. Los extractantes utilizados por los métodos químicos actúan de diferentes manera, según la forma como se presente el nutrimento en la fase sólida, aunque la naturaleza química de las formas extraídas no siempre se conoce (23).

Los sólidos inorgánicos presentes en el suelo, que son fuentes de nutrimentos para las plantas, son compuestos de muy variada solubilidad; ellos se forman por la interacción entre los cationes y aniones presentes en el suelo y con los que son adicionados por los fertilizantes. Son extraídos con soluciones que afectan la solubilidad de estos compuestos (23).

Los iones retenidos eléctricamente se extraen por un proceso de intercambio con un ión índice, que la mayoría de las veces es amonio, bario o potasio para los cationes y cloruros o sulfatos, para los aniones. Además de la extracción de los cationes, es necesario determinar la cantidad de cargas eléctricas que tiene el suelo. Con estas determinaciones es posible conocer la saturación de cada catión (23).

Los extractantes químicos son soluciones ácidas, básicas y/o de sales que actúan, generalmente de dos maneras: aumentando la solubilidad del compuesto que contiene el nutrimento o reemplazándolo en él (23).

Lo que se busca es que la solución extractora asemeje lo más posible la capacidad del suelo para solubilizar y entregar a la planta formas disponibles de nutrientes durante el transcurso de su ciclo vital (7).

Lo anteriormente expuesto explica el hecho de que para la extracción de la forma aprovechable de los diferentes nutrientes, exista diversidad de soluciones extractoras (7).

Los extractantes químicos pueden ser: el agua o soluciones acuosas, formadas por: uno o varios ácidos, por ácidos y sales, por sales, por bases, etc. Se pueden hacer todas las posibles soluciones extractoras que se quieran. No existen límites (23).

El método químico para evaluar la fertilidad del suelo es un método netamente empírico. El mejor extractante utilizado por un determinado método será aquel que mayor correlación tenga con la respuesta de la planta. Las soluciones extractoras más utilizadas en el análisis del suelo con fines de fertilidad se pueden agrupar en la forma siguiente:

1). Agua.

El agua destilada o desionizada es utilizada en la determinación de la reacción del suelo (potencial hidrógeno), en el método del Agua Caliente para Boro, en la preparación de la pasta saturada para evaluar la salinidad del suelo (23).

2). Soluciones diluídas de ácidos fuertes.

Los ácidos usados más frecuentemente son HCl, HNO₃ y H₂SO₄. Las concentraciones varían desde 0.002 N hasta 1.0 N aproximadamente. Los pHs de estas soluciones son por lo tanto muy bajas, en un rango entre 1 y 3 (23).

3). Soluciones diluídas de ácidos fuertes mas un ión formador de complejos.

Los ácidos usados son los mencionados anteriormente. Los complejos son unidades moleculares, neutras o no, que están formados por un ión central unido por enlace químico a uno o varios iones. Las especies acuosas Si(OH)₄⁰, Al(OH)⁺², HCO₃⁻ son ejemplos de complejos con Si⁺⁴, Al⁺³ y CO₃⁼, actúan como iones centrales, respectivamente. Los iones asociados OH⁻ y H⁺ en estos complejos son llamados ligandos (23).

Generalmente los ligandos son aniones o moléculas neutras coordinadas con un catión metálico en un complejo. Si uno o más grupos funcionales de un ligando orgánico están coordinados con un catión metálico, como átomo central, el complejo es denominado quelato. Uno de los ligandos formadores de complejos más usado en las soluciones extractoras es el fluoruro. Entre los ligandos formadores de quelato están el nitrato, el EDTA (ácido etilendiaminotetracético) y el DTPA (ácido dietilentriaminopentaacético) (23).

4). Soluciones diluídas de ácidos débiles.

Los ácidos débiles y sales de ácidos débiles más comunes son: ácido cítrico, citrato de sodio, ácido láctico, acetato de calcio, ácido acético y acetatos de amonio y sodio. Son soluciones que aportan un ligando para formar complejos y quelatos. Además, como algunas veces son una mezcla del ácido y la sal, las soluciones son tamponadas a un pH fijo (23).

5). Soluciones alcalinas, con o sin ligandos formadores de complejos.

Las soluciones alcalinas más comúnmente usadas son el hidróxido y el pirofosfato de sodio. A la solución de bicarbonato de sodio algunas veces se le adicionan ligandos quelatantes como el EDTA y el DTPA (23).

b. CORRELACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.

Debido a lo anterior, la elección de uno u otro tipo de solución extractora para un elemento dado, se basa en el uso de parámetros estadísticos que permitan cuantificar el grado de asociación o relación entre el nutrimento extraído por la solución y el realmente asimilado por la planta con base en datos experimentales obtenidos en invernadero y/o campo (4, 14, 23).

Estos parámetros no son otros que los coeficientes estadísticos de correlación “r” y asociación “R”. En lo que respecta al coeficiente de correlación “r”, una metodología de extracción será tanto mejor o eficiente cuanto más cercano esté su valor (positivo) de la unidad. En lo relativo al coeficiente “R²”, una metodología de extracción será tanto más confiable cuando más cercano esté su valor de 100 (4, 14).

En otros casos, el criterio que se usa es la mayor o menor relación o asociación entre los valores de extracción del nutrimento en su fracción disponible, y los correspondientes a la respuesta de la planta indicadora o del cultivo a la aplicación del nutrimento bajo condiciones de invernadero o campo (14).

Es lógico pensar que si la metodología de extracción es adecuada, bajos valores de extracción deben corresponder con altos niveles de respuesta a la aplicación del elemento; en tanto que altos valores de extracción corresponderán con bajos niveles de respuesta. Se entienden por respuesta los mayores o menores incrementos en rendimiento conseguidos cuando se aplicó y no se aplicó el nutrimento (14).

Los estudios de correlación se pueden realizar a dos niveles: invernadero y campo (5).

1). Invernadero.

En el invernadero se realiza a un nivel exploratorio, con un número grande de suelos ampliamente diversos.

El propósito principal de la correlación a nivel de invernadero es comparar los diferentes métodos de extracción y establecer unos niveles críticos tentativos o preliminares. Para esto se trabaja con muchos suelos (lo cual es caro y de difícil ejecución) y varias soluciones extractoras, se grafican y calculan los índices de correlación para cada solución entre los valores analíticos del suelo y alguna variable de crecimiento de la planta indicadora sembrada sobre ese suelo en macetas, como rendimiento absoluto, absorción del nutrimento o rendimiento relativo (5, 8, 14).

a). Rendimiento Absoluto (R. A.).

Las variables, de rendimiento absoluto utilizan los valores absolutos del rendimiento del cultivo. Por lo general se utilizan dos valores de rendimiento uno de ellos obtenido con el tratamiento testigo (en ausencia del nutrimento) y el rendimiento del tratamiento que dio el máximo rendimiento y que generalmente coincide con el rendimiento del tratamiento que recibió la adición del nutrimento bajo estudio. De esta forma (8):

YO = Rendimiento del testigo con el nivel 0 del nutriente estudiado.

Y max = Rendimiento máximo obtenido con la aplicación del nutriente estudiado.

También se pueden emplear los incrementos en el rendimiento absoluto relacionando YO con el rendimiento de otros tratamientos de la siguiente forma:

$$Y1 = Yt1 - YO$$

b). Rendimiento Relativo (R. R.).

Este tipo de variables relacionan rendimientos absolutos con el rendimiento del tratamiento que obtuvo el máximo rendimiento por efecto de la adición del nutrimento. A este rendimiento se le atribuye el valor del 100% y los rendimientos de los demás tratamientos tendrían valores más bajos (8).

La relación se expresa de la siguiente forma:

$$RR \% = \left[\frac{YO}{Y \text{ max}} \right] 100$$

También se puede utilizar el incremento en el rendimiento relativo y se expresa en la forma siguiente:

$$IRR \% = \left[\frac{(Y \text{ max}-YO)}{Y \text{ max}} \right] 100$$

Cuando se usa rendimiento relativo para realizar estas correlaciones, la variabilidad se reduce considerablemente; sin embargo esto implica contar, durante la investigación con dos tratamientos: un testigo al que no se le aplica el nutrimento en estudio u otra unidad que se fertiliza con ese nutrimento. En este caso, la interpretación de los resultados de estas correlaciones será de la siguiente manera: valores bajos de extracción corresponden con niveles bajos de rendimiento y viceversa (8).

Usualmente este tipo de correlación no es práctico porque los rendimientos absolutos están afectados por variaciones entre localidades atribuibles a variaciones climáticas o variaciones en propiedades de los suelos (textura, C. I. C. E., fuentes de carga, contenidos de M. O. S., etc.) (8).

2). Campo

En el campo es un nivel más definitivo con un número menor de suelos, pero cuidadosamente seleccionados.

El factor más importante de esta etapa es el lograr correlacionar el análisis de suelos con el rendimiento de cultivos específicos (8).

Se relaciona las diferentes cantidades del nutrimento disponible en el suelo con la magnitud de las respuestas del cultivo a la aplicación del mismo nutrimento como fertilizante, en cuyo caso los rendimientos relativos se calculan en base a la cosecha o producto final del cultivo (producción de grano, de tubérculos, etc.) (14).

Normalmente esta segunda metodología se aplica simultáneamente en la obtención de los niveles críticos del elemento (14).

c. CALIBRACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.

La calibración es el proceso de determinación de los “ámbitos” ó “niveles” del elemento del suelo, en los cuales la respuesta dada por el cultivo puede ser clasificada como alta, media y baja, o bien, definir el valor del nutrimento en el suelo a partir del cual los rendimientos comienzan a disminuir (nivel crítico). Esta etapa es más crítica que la anterior pues es aquí donde se establecen todas las pautas para el paso siguiente, que es la interpretación (5).

d. NIVELES CRÍTICOS (N. C.).

La correlación del análisis químico de suelos establece los niveles críticos de los diferentes elementos. Estos niveles son aquellos contenidos en suelos, por debajo de los cuales existe una probabilidad de respuestas económicas al abonamiento. La información práctica aquí para el agricultor, es de aplicar o no abonos (14).

La determinación del nivel crítico es el primer paso en el abonamiento técnico y de la información cualitativa pero no la cuantitativa; es decir, no especifica la cantidad a aplicar. La correlación establece también el método de extracción (14).

La última etapa del proceso de calibración del análisis es la pertinente a la obtención de niveles críticos de los diferentes elementos. Dichos niveles van a constituir los criterios básicos del diagnóstico de la fertilidad del suelo (5, 14).

Obviamente, la determinación de estos niveles se realiza para la metodología de extracción que haya dado los mejores resultados, es decir, que haya mostrado la mejor correlación con la absorción del nutrimento por la planta, con los rendimientos relativos (14).

El procedimiento para obtener estos niveles críticos consiste fundamentalmente en agrupar los suelos en categorías de fertilidad, tomando como base la magnitud de la respuesta y/o la probabilidad de que ésta ocurra (14).

Por ello, en la determinación de los niveles críticos se utiliza la información concerniente a la correlación entre los valores del elemento disponible en el suelo y los correspondientes a la respuesta relativa a la aplicación del elemento en cuestión (14).

La alta correlación positiva obtenida entre estos dos variables garantizará que el grupo de suelos que muestre bajos niveles disponibles del nutrimento corresponda con bajos rendimientos relativos, es decir con altas respuestas, o al menos, altas probabilidades de respuesta (4, 14).

Por el contrario, el grupo de suelos que tenga altos niveles disponibles del nutrimento corresponderá con altos rendimientos relativos, o lo que es lo mismo, con bajas respuestas o bajas probabilidades de respuesta. Forzosamente entre los dos grupos descritos habrá un grupo intermedio con contenidos medios del elemento, que necesariamente estará asociado con respuestas intermedias (5, 14).

Al tener claro el marco conceptual anterior, resulta relativamente fácil ubicar o determinar los niveles críticos del elemento. El valor sobre el cual las respuestas son bajas constituirá un nivel alto de disponibilidad; mientras que el valor bajo en el cual las respuestas son altas, constituirá un nivel bajo de disponibilidad. Naturalmente, entre los dos valores así determinados se ubicará el nivel de disponibilidad media (14).

En términos muy generales, asumimos que una respuesta será alta cuando su magnitud sea igual o superior al 70% es decir, corresponderá a rendimientos relativos iguales o menores al 30%. La respuesta se considera baja cuando es inferior al 30%, es decir cuando corresponde a rendimientos relativos iguales o superiores al 70%, lo que significa que corresponderán con rendimientos relativos comprendidos también entre 30 y 70%. Sin embargo, esto depende del nutrimento (5, 14).

Normalmente en una primera aproximación únicamente se determina un solo nivel crítico, el cual a “grosso modo”, dividirá a los suelos en dos grupos o categorías:

- Los suelos que estén con una concentración del nutrimento inferior a este nivel crítico, que corresponderán con altas respuestas y cuyo nivel de disponibilidad se calificará como bajo (14).
- Los suelos que muestren una concentración superior a ese nivel crítico, que corresponderán a bajas o nulas respuestas, aunque también pueden presentarse niveles medios de respuesta a la aplicación del nutrimento; en este caso el nivel de disponibilidad se calificará como bajo (14).
- Los suelos que muestren una concentración superior a ese nivel crítico, que corresponderán a bajas o nulas respuestas, aunque también puedan presentarse niveles medios de respuesta a la aplicación del nutrimento; en este caso la disponibilidad se calificará como alta (14).

En una segunda aproximación se podrá identificar un segundo nivel crítico que permita agrupar los suelos en categorías de alta, media y baja disponibilidad para el cultivo en cada uno de los nutrimentos, para el cultivo respectivo (5, 14).

Los procedimientos más utilizados para la determinación de un nivel crítico son los siguientes:

1). El Nivel Crítico de Rendimiento Máximo.

Que se define como el contenido del nutrimento que corresponde al 90 o 95% de rendimiento (anexo 8) (5, 14).

2). El Nivel Crítico Gráfico o de Cate y Nelson.

El procedimiento consiste fundamentalmente en los siguientes pasos (anexo 9):

- a). Ubicar en un sistema de coordenadas cartesianas, mediante lo que se conoce como “ploteo”, los puntos resultantes de la correspondencia de los valores del nutrimento disponible en el suelo (eje de las “X”) con los rendimientos relativos obtenidos (eje de las “Y”) (5).
- b). Posteriormente se construye en un material plástico transparente (generalmente de acetato), que se mueve en un sentido u otro hasta conseguir que el mayor número de puntos de la figura queden ubicados en los cuadrantes positivos; en tanto que el menor número de puntos deberá quedar en los cuadrantes negativos. Hecho esto, la situación quedará como se muestra en el anexo 9, si la correlación entre las dos variables es perfecta (caso muy raro) será posible ubicar todos los puntos en los cuadrantes positivos (5).
- c). En la posición anterior (anexo 9) la línea perpendicular horizontal coincidirá con un valor del eje de las ordenadas (rendimiento relativo) bajo el cual las respuestas serán altas o medias. Para el caso de la figura ejemplo, este valor es del 77%. Simultáneamente la perpendicular vertical coincidirá sobre el eje de las abscisas (eje de las “X”) con la concentración del elemento en el suelo sobre el cual estará el grupo de suelos que mostró respuestas altas o medias. En el anexo 9 el nivel crítico sería aproximadamente de 22 ppm de P (5).

3). El Nivel Crítico Calculado.

Requiere de cálculos más elaborados de regresión que determinen el punto de estabilización o de meseta. Este cálculo puede ser realizado por regresiones cuadráticas u otros tipos de regresión o bien, aplicando el diseño de “Plateau”. Este último consiste en dos líneas rectas, una con pendiente positiva y otra con pendiente igual a cero; el nivel crítico corresponde al punto donde se ubica el cambio de la línea con pendiente a la línea con pendiente cero (5).

4). El Nivel Crítico Visual.

Se determina experimentalmente observando los síntomas de deficiencia del elemento en la planta y correlacionándolos con los respectivos contenidos en la planta o en el suelo. El principal problema de esta técnica, la cual es meramente práctica, es que cuando los síntomas aparecen en la planta los daños ocasionados por la deficiencia del elemento son bastante graves y ya es muy tarde para corregirlos (5).

En comparación con las técnicas convencionales de correlación, el método Cate-Nelson tiene algunas ventajas fundamentalmente prácticas. Al separar los puntos de los datos en dos poblaciones, sigue la Ley del Mínimo de Liebig, por cuanto el nivel crítico es el punto más allá del cual el nutrimento de que se trata deja de ser un factor limitante (5).

En contraposición, los modelos de regresión continuos no presentan puntos de inflexión y obligan a que los agrupamientos sean arbitrarios (5).

Otra ventaja es que el método identifica los suelos en los que la solución extractora no trabaja bien (los puntos que quedan en los cuadrantes negativos). Esto permite someterlos a mayor estudio y refinamiento (5).

También, la validez estadística de la técnica ha sido comprobada adecuando un modelo de regresión lineal discontinuo y comparándolo con los modelos curvilíneos convencionales. El coeficiente de determinación obtenido (valor de r^2) en pruebas con datos de todo el mundo para el modelo nuevo, fue un poco más alto (5).

Finalmente, resultarán dos categorías distintas de suelo-cultivo que se diferenciarán en la clase de respuestas obtenidas. Por debajo del nivel crítico podrán esperarse altas respuestas del rendimiento en el cultivo si se hacen adiciones adecuadas del nutrimento en cuestión. Por encima del nivel crítico, la respuesta esperada será pequeña o simplemente nula (14).

El nivel crítico obtenido dependerá, por supuesto, del extractante utilizado, del tipo de suelo y de la clase del cultivo. En consecuencia, es obvio que los niveles críticos de un mismo nutrimento deberán ser obtenidos para las diferentes clases de suelo y, dentro de cada clase, para los diferentes cultivos. La consecución de un nivel crítico lo suficientemente confiable dependerá fundamentalmente del uso de una solución extractora adecuada, lo cual garantizara una división casi perfecta entre los dos grupos de suelos (5, 14).

Una vez determinados los niveles críticos para los diferentes nutrimentos, y bajo el supuesto de que son lo suficientemente confiables, se puede proceder al diagnóstico respectivo. Con base en los conceptos que vimos de la relación entre el nivel crítico y las probabilidades de respuesta a la fertilización, resulta sencillo establecer una interpretación lógica (14).

Los niveles críticos permiten agrupar los suelos en categorías, dependiendo si el nivel de disponibilidad del nutrimento es alto, medio o bajo; pero la interpretación debe ir un poco más allá, en el sentido de relacionar esa calificación con los conceptos de suficiencia y requerimiento de fertilización (14).

Con un ejemplo podremos ilustrar el procedimiento general de la interpretación; suponiendo que los niveles críticos para K- cambiante son <0.20 meq/100 g de suelo bajo; 0.20-0.30 meq/100 g de suelo medio, >30 meq/100 g de suelo alto, la interpretación respectiva sería la siguiente:

Cuadro 2. Interpretación de tres niveles críticos.

Nivel crítico meq*/100 g de suelo	Disponibilidad	Deficiencia	Requerimiento Fertilización Probable
< 0.20	Baja	Aguda	Alto
0.20 - 0.30	Media	Moderada	Medio
> 0.30	Alta	Nula	Bajo o Ninguno

*meq = miliequivalentes

Este sistema de interpretación podrá aplicarse cuando se disponga de dos niveles críticos. Cuando únicamente se dispone de un nivel crítico, solamente podrán calificarse los grados de disponibilidad alta y baja, y desaparece el nivel de disponibilidad medio, porque se confundiría con el nivel alto, lo que haría más difícil la interpretación (14).

Si en el ejemplo anterior solo hubiera un valor crítico (0.20 meq/100g de suelo) lo que es muy común, la interpretación respectiva quedaría así:

Cuadro 3. Interpretación de dos niveles críticos.

Nivel crítico meq/100 g de suelo	Disponibilidad	Deficiencia	Requerimiento Fertilización Probable
< 0.20	Baja	Aguda	Alto
> 0.20	Media	Moderada o Nula	Bajo o Ninguno

Estos criterios se toman como pauta general en la interpretación o el diagnóstico químico de la fertilidad del suelo, y se utilizarán los niveles críticos específicos o recomendables para cada nutriente y cultivo (14).

Cuando la correlación necesaria para la obtención del nivel crítico se ha hecho con base en experimentación de invernadero, usando los valores de rendimiento de materia seca, el rendimiento relativo que coincide con el nivel crítico es usualmente menor (mayor respuesta) que el que se obtiene cuando se trabaja bajo condiciones reales de campo, utilizando para la determinación de los rendimientos los valores de la cosecha final (5).

En el Ecuador, el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) midió sus métodos analíticos en la determinación de elementos disponibles en el suelo, para obtener los niveles críticos para la interpretación del análisis químico de suelos. En el cuadro 4 se presentan los niveles críticos del laboratorio del INIAP para la sierra y costa ecuatoriana (22).

Cuadro 4. Niveles críticos para la interpretación de los análisis químico de suelos.

Costa y Sierra	Muy Acido	Acido	Medianamente Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Medianamente Alcalino	Alcalino	Neutro
pH	0.0 - < 5.0	5.0 - 5.5	> 5.5 - 6.0	> 6.0 - 6.5	> 6.5 - 7.5	> 7.5 - 8.0	> 8.0 - 8.5	> 8.5	7.0
Siglas	M Ac	Ac	Me Ac	L Ac	PN	L Al	Me Al	Al	N
Requieren de cal									

Nutriente	Unidad	Costa				Sierra			
		Bajo	Medio	Alto	Tóxico	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
M. O. S.	%	< 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0		< 3.0	3.0 - 5.0	> 5.0	
N-NH₄	ppm	< 31.0	31.0 - 40.0	> 40.0		< 30.0	30.0 - 60.0	> 60.0	
P	ppm	< 8.0	8.0 - 14.0	> 14.0		< 10.0	10.0 - 20.0	> 20.0	
S	ppm	< 4.0	4.0 - 19.0	> 19.0		< 12.0	12.0 - 24.0	> 24.0	
K	meq/100 g	< 0.2	0.2 - 0.38	> 0.38		< 0.2	0.2 - 0.38	> 0.38	
Ca	meq/100 g	< 5.1	5.1 - 8.9	> 8.9		< 2.0	2.0 - 5.0	> 5.0	
Mg	meq/100 g	< 1.7	1.7 - 2.3	> 2.3		< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5	
Cu	ppm	< 1.1	1.1 - 4.0	> 4.0		< 1.0	1.0 - 4.0	> 4.0	
Fe	ppm	< 20.0	20.0 - 40.0	> 40.0		< 20.0	20.0 - 40.0	> 40.0	
Mn	ppm	< 5.1	5.1 - 15.0	> 15.0		< 5.0	5.0 - 15.0	> 15.0	
Zn	ppm	< 3.1	3.1 - 7.0	> 7.0		< 3.0	3.0 - 7.0	> 7.0	
Cl	ppm	< 17.0	17.0 - 32.9	> 32.9					
B	ppm	< 0.20	0.20 - 0.49	1.0	> 1.0	< 1.0	1.0 - 2.0	4.0	> 4.0
Siglas		B	M	A	T	B	M	A	T

Nutriente	Unidad	Costa			Sierra		
		Bajo	Medio	Tóxico	Bajo	Medio	Tóxico
Al + H	meq/100 g	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5
Al	meq/100 g	< 0.3	0.3 - 1.0	> 1.0	< 0.3	0.3 - 1.0	> 1.0
Na	meq/100 g	< 0.5	0.5 - 1.0	> 1.0	< 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
Siglas		B	M	T	B	M	T

Nutriente	Unidad	Costa				Sierra			
		No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino	No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino
C. E.	dS/m	< 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 8.0	> 8.0	< 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 8.0	> 8.0
Siglas		NS	LS	S	MS	NS	LS	S	MS

Fuente: INIAP. EESC. 2002. (22).

3. PARÁMETROS DESCRITOS EN EL ANÁLISIS DE QUÍMICO SUELOS.

a. TIPOS DE ANÁLISIS DE SUELOS.

En el laboratorio del Departamento de Manejo de Suelos, Plantas y Aguas (D. M. S. A.) de la Estación Experimental Santa Catalina (E. E. S. C.) del INIAP se realizan 4 tipos de análisis químicos y físicos de suelos (22).

Estos son:

1). Análisis Elemental.

Este tipo de análisis proporciona información sobre N, P, K, Ca, Mg, según el pH (Al + H) y conductividad eléctrica (C. E.).

2). Análisis Completo.

Este tipo de análisis proporciona información sobre materia orgánica del suelo (M. O. S.), capacidad de intercambio catiónica efectiva (C. I. C. E.), relaciones Ca/Mg, Mg/K, Ca + Mg/K, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn, Fe, y según el pH (Al + H, C. E. y Na). Este análisis se recomienda realizar cuando se requiere tener un conocimiento más detallado de un suelo.

3). Análisis de Salinidad.

Este tipo de análisis proporciona información sobre pH, C. E., K, Ca, Mg, Na, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , R. A. S. Se recomienda realizar este análisis cuando se sospecha que el suelo tiene problemas de salinidad.

4). Análisis Especiales.

Este tipo de análisis proporciona información sobre textura, curva de retención de humedad, densidad aparente, porcentaje de humedad, compactación, capacidad de intercambio catiónica (C. I. C.), por elemento, nitrógeno total y materia orgánica (M. O. S.). Este análisis se recomienda hacer cuando se necesita analizar las características físicas y el contenido de ciertos elementos de un suelo.

b. DETERMINACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Las determinaciones físicas y químicas que realiza el laboratorio del INIAP de la Estación Experimental Santa Catalina son las siguientes:

1). **DETERMINACIÓN FÍSICA.**

a). **DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA.**

MÉTODO DENSIMÉTRICO (BOUYOUCUS).

- **Objetivo.**

Consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en la fracción mineral del suelo. Estos porcentajes se obtienen mediante la separación de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro (1, 10).

- **Arena (a):** Se consideran arena, las partículas comprendidas entre 2.00 y 0.05 mm de diámetro.
- **Limo (L):** Se consideran limos, las partículas comprendidas entre 0.05 y 0.002 mm de diámetro.
- **Arcilla (A):** Se consideran arcillas, las partículas con diámetro menores que 0.002 mm de diámetro.

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla, se va al triángulo de texturas y se determina la clasificación textural para cada suelo (anexo 10).

- **Principio.**

Análisis granulométrico por densimetría con hidrómetro de Bouyoucos. En la suspensión de suelo colocada en una probeta de sedimentación, la densidad a una profundidad determinada va disminuyendo a medida que se sedimentan las partículas, como éstas sedimentan a velocidades proporcionales a su tamaño, seleccionando los tiempos, una lectura de la densidad puede servir de medida del contenido limo más arcilla o de arcilla (1, 10).

- **Extractante.**

Hidróxido de Sodio 0.1 N.

2). **DETERMINACIONES QUÍMICAS.**

a). **DETERMINACIÓN DEL pH.**

MÉTODO POTENCIOMÉTRICO.

- **Objetivo.**

El término de pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógenos expresados en moles por litro. Los métodos electrométricos usualmente miden la actividad iónica por lo que el pH puede definirse más apropiadamente como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógenos expresada en mol/dm (1, 10).

La determinación del pH sirve de pauta para interpretar algunas características de los suelos relacionadas especialmente con sus propiedades ácidas o alcalinas y el funcionamiento general en cuanto a la utilización y solubilidad de los nutrientes del suelo se refiere (anexo 11).

- **Principio.**

El pH se determina midiendo con un potenciómetro la fuerza electromotriz de un par de electrodos, que incluyen un electrodo de vidrio sensible a pH. La sensibilidad se la confiere al electrodo una membrana delgada de vidrio especial que desarrolla un potencial eléctrico en respuesta a un cambio de concentración de H^+ (1, 10).

El electrodo de referencia de calomel se usa para completar el circuito eléctrico y registra una diferencia de voltaje fija entre el electrodo y la solución independiente del pH (1, 10).

La diferencia del voltaje entre los dos electrodos se mide por un voltímetro que se ha calibrado para leer directamente en unidades de pH siempre que se ajuste inicialmente con una solución tampón de pH conocido. La dilución utilizada es (1:2.5) el líquido puede ser agua (pH- H_2O); KCl 1M (pH-KCl) o $CaCl_2$ 0.01 M (pH- $CaCl_2$) (1, 10).

- **Extractante.**

Agua.

b). **DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ INTERCAMBIABLE ($Al^{+3} + H^+$).**

MÉTODO VOLUMÉTRICO.

- **Objetivo.**

En suelos minerales la hidrólisis del aluminio intercambiable es la fuente principal de iones hidrógeno, por lo que el grado de acidez del suelo está íntimamente relacionado con el aluminio intercambiable presente en el complejo coloidal. La determinación de la acidez intercambiable es necesario realizarla cuando el valor de pH es inferior ó igual a 5.5 (1, 10).

- **Principio.**

Extracción de la acidez intercambiable con solución salina de KCl 1 N no tamponada, se forma $AlCl_3$ que hidroliza parcialmente al ácido correspondiente, titulando la solución ácida resultante con NaOH 0.01 N. La cantidad de base utilizada en la titulación es equivalente a la concentración de acidez intercambiable del suelo (1, 10).

- **Extractante.**

Cloruro de Potasio 1N.

c). DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (C. E.).

MÉTODO CONDUCTIMÉTRICO.

- Objetivo.

Determinar el contenido de sales solubles presentes en el suelo, cuyo resultado es muy importante para proyectos de riego y sobre todo para establecer la factibilidad de utilización del mismo en la agricultura, u otros usos (1, 10).

- Principio.

La medición se basa en el principio de que las sales disueltas conducen la corriente eléctrica en proporción a la concentración de las sales o constituyentes ionizados. El agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica en proporción a la concentración de las sales o constituyentes ionizados. De allí que se aproveche esta propiedad para medir la conductividad eléctrica de un extracto acuoso de suelo mediante un aparato de Wheatstone o puente salino de una pareja de electrodos que se sumergen en el extracto. La conductividad equivalente se define como la conductividad de una cantidad de dilución que contenga un equivalente gramo del electrolito, colocada entre los electrodos separados 1 cm y dispuestos de modo que cubran los lados opuestos del volumen de la solución (1, 10).

Los datos se expresan en dS/m; considerando las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ S/cm} = 1 \text{ mhos/cm}$$

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmhos/cm} = 1 \text{ mS/cm}$$

- Extractante.

Pasta de saturación.

d). DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (M. O. S.).

MÉTODO VOLUMETRICO (WALKLEY Y BLACK).

- Objetivo.

Determinación del contenido de materia orgánica fácilmente oxidable del suelo, expresada como porcentaje. Al obtener la concentración de carbón orgánico, se saca la relación carbón-nitrógeno a fin de determinar el grado de formación, la evolución de un suelo y la disponibilidad del nitrógeno para las plantas y los microorganismos. El carbono orgánico tiene también, a través de la materia orgánica, una acción en la estabilidad estructural, la capacidad de intercambio, el desarrollo de los microorganismos, etc (1, 10).

- **Principio.**

La determinación se basa en una oxidación incompleta en frío del carbono por un exceso de dicromato de potasio en medio sulfúrico, y la cuantificación del exceso de dicromato de potasio con la sal de Morh (1, 10).

- **Extractante.**

Dicromato de Potasio 1 N.

e). **DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (C. I. C.).**

MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO.

- **Objetivo.**

Utiliza una sola extracción para determinar los cationes de cambio y la capacidad de intercambio, además permite trabajar sobre una sola muestra favoreciendo así una homogeneización de los datos, y lo que no es despreciable, un ahorro de los reactivos (1).

- **Principio.**

Desplazamiento de los cationes de cambio del complejo de absorción por el amonio de una solución salina a pH neutro (acetato de amonio uno normal). Determinación efectuada por espectrofotometría de absorción atómica. Lavado del suelo residual con etanol al 5% para eliminar el exceso de amonio. Destilación en medio básico y titulación de la solución recogida con ácido sulfúrico (1).

- **Extractante.**

Acetato de Amonio 1 N pH7.

f). **DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO AMONIAL.**

MÉTODO FOTOCOLORIMÉTRICO.

- **Objetivo.**

Cuantificar el nitrógeno amoniacal disponible para las plantas en el suelo.

- **Principio.**

El compuesto de azul indofenol se obtiene en la reacción a pH alto del amonio e hipoclorito. El calcio y el magnesio se complejan con el citrato para evitar interferencias (1).

- **Extractante.**

Olsen modificado (Bicarbonato de sodio + EDTA + Super flow).

g). DETERMINACIÓN DEL NITRÓGENO TOTAL.

MÉTODO DE DESTILACIÓN.

- **Objetivo.**

Determinar el nitrógeno total en el suelo.

- **Principio.**

El análisis de nitrógeno total se realiza a través de un proceso de digestión de la muestra utilizando ácido sulfúrico en presencia de catalizadores como el sulfato de potasio, sulfato de cobre y dióxido de selenio en este proceso se produce anhídrido carbónico, agua, anhídrido sulfuroso y sulfato de amonio. Este último es destilado y recogido en una solución de ácido bórico, para finalmente ser valorado con ácido sulfúrico utilizando una mezcla de indicadores de verde de bromocresol y rojo de metilo (1, 10).

- **Extractante.**

Ácido Sulfúrico.

h). DETERMINACIÓN DE FÓSFORO.

MÉTODO FOTOCOLORIMÉTRICO.

- **Objetivo.**

El fósforo disponible define los grados de deficiencia, suficiencia o exceso de este elemento en relación con su disponibilidad para los cultivos (1).

- **Principio.**

Se basa en la medición de la intensidad del color producido por el complejo azul de fosfomolibdato. Este complejo que es heteropoliácido se forma por la reacción del ión ortofosfato con el ión molibdato en medio ácido. El ácido ascórbico reduce parcialmente el complejo formado y genera el color azul (1).

- **Extractante.**

Olsen modificado.

i). DETERMINACIÓN DEL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO.

MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

- Objetivo.

Determinar la cantidad de potasio, calcio y magnesio extraído por la solución Olsen modificada (pH a 8.5) (1).

- Principio.

Los elementos potasio, calcio, magnesio en solución son atomizados en la llama aire-acetileno lo que permite que se absorba la radiación proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes. La adición de óxido de lantano se hace con el fin de eliminar la interferencia de carácter químico (1, 10).

- Extractante.

Olsen modificado.

j). DETERMINACIÓN DE MICROELEMENTOS (COBRE, HIERRO, MANGANESO Y ZINC).

MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

- Objetivo.

Determinar la cantidad de cobre, hierro, manganeso y zinc, extraída por la solución Olsen modificado (pH a 8.5) (1).

- Principio.

Los elementos cobre, hierro, manganeso y zinc en solución son atomizados en la llama aire-acetileno, lo que permite que se absorba la radiación proveniente de una lámpara del mismo elemento en forma proporcional a la cantidad de átomos presentes (1, 10).

- Extractante.

Olsen modificado.

k). DETERMINACIÓN DEL AZUFRE (SO₄²⁻).

MÉTODO FOTOCOLORIMÉTRICO.

- Objetivo.

Cuantificar el azufre disponible para las plantas en el suelo.

- Principio.

El sulfato presente en la muestra es precipitado en una solución ácida de BaCl₂. Bajo condiciones controladas se forman cristales de BaSO₄ de tamaño uniforme que quedan en suspensión formando una solución turbidimétrica. De esta suspensión es medida la concentración de azufre por colorimetría (1).

- Extractante.

Fosfato ácido de calcio.

l). DETERMINACIÓN DEL BORO.

MÉTODO FOTOCOLORIMÉTRICO.

- Objetivo.

Cuantificar el boro disponible para las plantas en el suelo.

- Principio.

El boro es extraído con el fosfato de calcio y el mismo es determinado por el procedimiento colorimétrico de la curcumina (1).

- Extractante.

Fosfato ácido de calcio.

m). DETERMINACIÓN DEL SODIO.

MÉTODO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

- Objetivo.

Cuantificar el sodio disponible para las plantas en el suelo.

- Principio.

El sodio es extraído con agua (pasta de saturación) y el mismo es determinado por el procedimiento de espectrofotometría de absorción atómica (1, 10).

- Extractante.

Pasta de saturación.

n). DETERMINACIÓN DE CLORO.

MÉTODO VOLUMÉTRICO.

- Objetivo.

Cuantificar el cloro disponible para las plantas en el suelo.

- Principio.

Determinación de la extracción del cloro por la solución de nitrato de mercurio ácida. (1, 10).

- Extractante.

Nitrato de Mercurio.

En el cuadro 5 se presenta un resumen de los métodos y extractantes utilizados en la determinación física y química de los elementos extraídos en el análisis de suelos.

Cuadro 5. Métodos y Extractantes utilizados en la determinación física y química de los elementos extraídos del análisis químico suelos.

Parámetro	Método	Extractante
Textura	Densimétrico	Hidróxido de sodio 0.1 N
pH	Potenciométrico	Agua
Al + H	Volumétrico	Cloruro de potasio 1 N
Conductividad Eléctrica (C. E.)	Conductimétrico	Pasta de saturación
Materia Orgánica (M. O. S.)	Volumétrico	Dicromato de potasio 1 N
Capacidad de Intercambio Catiónico (C. I. C.)	Físico-Químico	Acetato de amonio 1 N pH 7
Nitrógeno amoniacal	Fotocolorimétrico	Olsen modificado
Nitrógeno total (N. total)	Destilación	Ácido sulfúrico
Fósforo (P)	Fotocolorimétrico	Olsen modificado
Cationes Cambiables (K, Ca, Mg)	Espectrofotometría de absorción atómica	Olsen modificado
Microelementos (Cu, Zn, Mn y Fe)	Espectrofotometría de absorción atómica	Olsen modificado
Azufre (S)	Fotocolorimétrico	Fosfato ácido de calcio
Boro (B)	Fotocolorimétrico	Fosfato ácido de calcio
Sodio (Na)	Espectrofotometría de absorción atómica	Pasta de saturación
Cloro (Cl)	Volumétrico	Nitrato de mercurio

4. UNIDADES EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.

Existe una matemática química comúnmente empleada por los laboratorios de suelos para reportar sus resultados; si no comprendemos el significado de estas unidades en términos cuantitativos, no es posible interpretar los resultados del análisis de suelos, ni formular las recomendaciones pertinentes (7).

Las unidades comúnmente empleadas en el análisis de suelos son las siguientes:

a). PARTES POR MILLON (ppm).

Se denomina **ppm** a las unidades en un millón de unidades; por ejemplo: kilogramos en un millón de kilogramos, gramos en un millón de gramos, miligramos en un millón de miligramos, litro en un millón de litros. Con esta unidad se expresan los contenidos de nitrógeno, fósforo, azufre y elementos menores (B, Cu, Zn, Mn y Fe) en el suelo (7).

Para hacer los cálculos respectivos una vez que se tengan los resultados del análisis químico de suelos expresados en ppm, se debe conocer el peso en kilogramos de la capa arable del suelo; generalmente se asume que una hectárea de suelo con densidad aparente de 1.0 g/cm^3 y profundidad de 20 cm, pesa 2 000 000 de kg (7).

Esta propiedad del suelo puede presentar valores extremos. El valor varía de 1.0 g/cm^3 en suelos arcillosos, orgánicos y bien estructurados, hasta alrededor 1.8 g/cm^3 en suelos arenosos compactados. En el cuadro 6 se presentan varios valores de densidad aparente en donde se puede apreciar que el valor de esta propiedad disminuye a medida que se incrementa el contenido de arcilla en el suelo (17).

Cuadro 6. Valores de la densidad aparente de varios suelos en diferentes texturas.

Clase textural	Densidad Aparente g/cm^3
Arena	1.50 – 1.80
Arena migajón	1.40 – 1.70
Migajón arenoso	1.30 – 1.50
Migajón	1.20 – 1.40
Migajón limoso	1.15 – 1.40
Limo	1.15 – 1.40
Migajón arcillo-arenoso	1.15 – 1.30
Migajón arcilloso	1.15 – 1.30
Migajón arcillo-limoso	1.15 – 1.30
Arcilla arenosa	1.10 – 1.25
Arcilla limosa	1.10 – 1.25
Arcilla	1.05 – 1.20
Arcilla en agregados	0.90 – 1.10
Arcilla sódica	1.20 – 1.50
Arena compactada	1.80 – 1.90
Suelo orgánico	0.80 – 1.00

Si un análisis de suelo reporta un contenido de **15 ppm de fósforo**, para saber cuántos kilogramos de fósforo (P) y de P₂O₅ existen en una hectárea de suelo, se realizarán los siguientes cálculos:

1). Transformación de ppm de fósforo a kg/ha de fósforo.

En el ejemplo, las 15 ppm de fósforo indican que existen 15 kg de fósforo en 1 000 000 de kg de suelo. Si asumimos que la capa arable del suelo pesa 2 000 000 de kg tenemos:

$$\begin{array}{r} 15 \text{ kg de P} \quad \text{-----} \quad 1\ 000\ 000 \text{ kg de suelo} \\ X \quad \quad \quad \text{-----} \quad 2\ 000\ 000 \text{ kg de suelo (peso capa arable)} \end{array}$$

$$X \text{ kg de P/ha} = \frac{15 \text{ kg de P} \times 2\ 000\ 000 \text{ kg de suelo (peso capa arable)}}{1\ 000\ 000 \text{ kg de suelo}}$$

$$X = 30 \text{ kg de P/ha}$$

Lo cual significa que las 15 ppm de P en este suelo son equivalentes a 30 kg de P/ha.

2). Transformación de kg de P/ha a kg de P₂O₅/ha.

Para transformar fósforo (P) a P₂O₅ como se presentan los fertilizantes, se multiplica por la constante 2.29, mediante fórmula:

$$\mathbf{P_2O_5 = P \times 2.29}$$

Que es lo mismo:

$$\text{Kg de P}_2\text{O}_5/\text{ha} = \text{kg de P/ha} \times 2.29$$

Para este ejemplo tenemos que los 30 kg de P/ha existentes en este suelo son equivalentes a 68.7 kg de P₂O₅/ha

La constante 2.29 proviene del análisis que se hace a partir del peso molecular del P₂O₅, (cuadro 6), donde se comprueba que una unidad de P es químicamente igual a 2.29 unidades de P₂O₅.

3). Transformación directa de ppm de P a kg de P₂O₅/ha.

En forma directa es posible transformar las ppm de fósforo reportadas en el análisis químico de suelos a kg de P₂O₅/ha (forma en que vienen los fertilizantes), mediante la fórmula:

$$\mathbf{Kg \text{ de } P_2O_5/\text{ha} = \text{ppm de P} \times 4.58}$$

Para el ejemplo se tendrá un valor de 68.7 Kg de P₂O₅/ha.

La constante 4.58 aplicable solo a suelos cuya capa arable pesa 2 000 000 de kg, proviene del análisis que se hace a partir de que 1 ppm de P = 2.29 ppm de P₂O₅ o sea que 1 kg de P₂O₅ está contenido en 1 000 000 de kg de suelo, luego en 2 000 000 de kg

de suelo (peso de la capa arable) existirán 4.58 kg de P_2O_5 /ha; el anterior análisis se deduce que 1 ppm de fósforo es 4.58 kg de P_2O_5 /ha (7).

En el cuadro 7 se presentan las constantes para transformar los elementos extraídos que determina el análisis químico de suelos a fórmulas que se presentan los fertilizantes químicos y/o viceversa.

Cuadro 7. Constantes para transformar los elementos extraídos del análisis químico de suelos a fórmulas que se presentan los fertilizantes químicos y/o viceversa.

Nutriente	Columna 1	Columna 2	Para convertir la Columna 1 a la Columna 2, multiplicar por:
Nitrógeno (N) *14.01	N	NO_3	4.4266
	NO_3	N	0.22591
	N	KNO_3	7.22
	KNO_3	N	0.13855
	KNO_3	NO_3	0.61331
	NO_3	KNO_3	1.63
	N	NH_3	1.216
	NH_3	N	0.8235
	N	NH_4	1.2857
Fósforo (P) *30.97	P	P_2O_5	2.2951
	P_2O_5	P	0.43646
Potasio (K) *39.10	K	K_2O	1.2046
	K_2O	K	0.83013
Sodio (Na) *22.99	Na	Na_2O	1.3479
	Na_2O	Na	0.74191
Magnesio (Mg) *24.31	Mg	MgO	1.6579
	MgO	Mg	0.60317
	Mg	$MgCO_3$	3.4675
	$MgCO_3$	Mg	0.28839
Calcio (Ca) *40.08	Ca	CaO	1.3992
	CaO	Ca	0.71469
	Ca	$CaCO_3$	2.4973
	$CaCO_3$	Ca	0.40044
Azufre (S) *32.06	S	SO_4	3.00
	SO_4	S	0.3333
Boro (B) *10.81	B	B_2O_3	3.2181
	B_2O_3	B	0.31074
Zinc (Zn) *65.37	Zn	ZnO	1.2447
	ZnO	Zn	0.80339
Manganeso (Mn) *54.94	Mn	MnO	1.2913
	MnO	Mn	0.77443
Hierro (Fe) *55.85	Fe	Fe_2O_3	1.4298
	Fe_2O_3	Fe	0.69940
Cobre (Cu) *63.54	Cu	CuO	1.2517
	CuO	Cu	0.79892
Molibdeno (Mo) *95.94	Mo	MoO_3	1.5003
	MoO_3	Mo	0.66655

* Peso molecular

b). MILIEQUIVALENTE (meq).

Para obtener el miliequivalente, se debe calcular el equivalente químico de un elemento, que es su peso atómico dividido por su valencia y dividir por 1 000 .

Si se expresa en gramos se le denomina equivalente gramo (7).

Se denomina miliequivalente (meq) gramo al equivalente gramo de un elemento o sustancia dividido por 1 000; es decir: es una unidad que representa la milésima parte de un equivalente (cuadro 8).

Cuadro 8. Equivalentes y miliequivalentes gramos de los elementos que en el análisis químico de suelos se expresan con esta unidad.

Elemento	Peso atómico g	Valencia	Equivalente g	Miliequivalente g
Calcio (Ca ⁺⁺)	40	2	20	0.020
Magnesio (Mg ⁺⁺)	24	2	12	0.012
Potasio (K ⁺)	39	1	39	0.039
Sodio (Na ⁺)	23	1	23	0.023
Aluminio (Al ⁺⁺⁺)	27	3	9	0.009

Los resultados de las bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), la capacidad de intercambio catiónica (C. I. C.), la capacidad de intercambio catiónica efectiva (C. I. C. E.), y el aluminio intercambiable son reportados por el análisis de suelos en miliequivalentes por 100 g de suelo (meq/100 g de suelo) (7).

1). Transformación directa de meq/100 g de suelo de Ca a kg de Ca/ha.

Para transformar miliequivalentes por 100 g (meq/100 g) de un elemento reportado en el análisis de suelos a kg por hectárea se tiene en cuenta el peso de la capa arable, que es de aproximadamente 2 000 000 de kg, para suelos con densidad aparente de 1 g/cm³ y profundidad de 20 cm.

Entonces, si un análisis de suelo reporta 1.0 meq Ca/100 g de suelo, se tendrían los siguientes cálculos:

$$1 \text{ eq Ca}^{++} = 20 \text{ gramos Ca}^{++}$$

$$1 \text{ meq Ca}^{++} = 0.02 \text{ gramos Ca}^{++}$$

$$0.02 \text{ gramos Ca}^{++} = 0.00002 \text{ kg Ca}^{++}$$

$$\begin{array}{r} 0.00002 \text{ kg Ca}^{++} \\ \times \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} 0.1 \text{ kg de suelo} \\ 2\,000\,000 \text{ kg de suelo} \end{array}$$

$$X \text{ meq Ca}^{++}/100\text{g} = \frac{0.00002 \text{ kg Ca}^{++} \times 2\,000\,000 \text{ kg de suelo/ha}}{0.1 \text{ kg de suelo}}$$

$$X = 400 \text{ de kg Ca}^{++} / \text{ha}$$

En el cuadro 9 se tiene la transformación directa de 1 meq/100g de suelo de bases intercambiables (Ca, Mg, K y Na), y el aluminio intercambiable a kg/ha.

Cuadro 9. Transformación de meq/100 g de suelo a kg/ha de las bases cambiabiles y aluminio intercambiable.

Elemento	Miliequivalente meq/100 g de suelo	kg/ha
Calcio (Ca ⁺⁺)	1	400
Magnesio (Mg ⁺⁺)	1	240
Potasio (K ⁺)	1	780
Sodio (Na ⁺)	1	460
Aluminio (Al ⁺⁺⁺)	1	180

c). PORCENTAJES (%).

El porcentaje (%) es usado en los análisis de suelos para expresar los contenidos de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y saturación de bases.

1). Cálculo del porcentaje de materia orgánica.

La materia orgánica del suelo se obtiene indirectamente a partir del cálculo del carbono orgánico, que se determina como medida directa en el laboratorio por el método de combustión húmeda, consistente en la oxidación de la materia orgánica por medio del dicromato de potasio y ácido sulfúrico y la posterior determinación del exceso del oxidante, mediante titulación (7).

Básicamente se persigue la determinación del carbono orgánico por el procedimiento de combustión húmeda ya anotado, debido a la aceptación de que la materia orgánica del suelo posee aproximadamente 58% de carbono orgánico (7).

En consecuencia, el porcentaje de carbono orgánico oxidable multiplicado por 1.724 (constante que resulta de dividir 100/58), siendo este un valor estimado del contenido de materia orgánica del suelo (7).

Entonces, para calcular la materia orgánica (%) a partir del dato de carbono orgánico (%) obtenido en el laboratorio, se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{M. O. S. (\%)} = \text{C.O.} \times 1.724$$

2). Cálculo del porcentaje de nitrógeno total.

Conociendo el contenido de materia orgánica en porcentaje (%), es posible calcular el contenido de nitrógeno total (%), asumiendo que el 5 % de la materia orgánica corresponde al nitrógeno total. Se utiliza la siguiente fórmula (13):

$$\text{Nitrógeno total (\%)} = \frac{\text{M. O. S. (\%)}}{20} = 5 \% \text{ M. O. S.}$$

3). Cálculo del porcentaje del nitrógeno disponible.

Para calcular el nitrógeno disponible o aprovechable para las plantas, se parte de qué tanto del nitrógeno total se mineraliza o pasa a formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-), asimilables por las plantas. Investigaciones realizadas en suelos, han demostrado que del 5 % del N total el 1% pasa a N disponible (13).

$$\text{Nitrógeno disponible (\%)} = \frac{\text{Nitrógeno total (\%)}}{100} = 1 \% \text{ Nitrógeno total.}$$

4). Cálculo de la relación Carbono-Nitrógeno (C/N).

Resulta de dividir el porcentaje (%) de Carbono por el porcentaje (%) de Nitrógeno (13).

La calificación de la relación C/N es la siguiente:

- **Menor de 20: Baja.**

Indica alta mineralización. En esta condición la materia orgánica da buen suministro de nitrógeno, propia de clima cálido en suelos bien aireados (13).

- **Entre 20 a 30: Media.**

Mineralización normal (13).

- **Mayor de 30: Alta.**

Mineralización lenta existe alta inmovilización. El aporte de nutrimentos por la materia orgánica es poco eficiente. Propia de clima frío y de páramo (13).

5). Cálculo del porcentaje de saturación de bases.

El término bases intercambiables o total de bases intercambiables, se refiere a la suma de las bases (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+) en forma intercambiable en el suelo, que se denomina Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva (C. I. C. E.), expresadas en meq/100 gramos de suelo (7).

La saturación total de bases en el suelo se expresa en porcentaje (%), y es el producto de dividir la suma de las bases (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^+), entre la capacidad de intercambio catiónico (C. I. C.) real (7, 9).

$$\text{C. I. C. E.} = \text{meq/100 g de suelo } (\text{Ca}^{++} + \text{K}^+ + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+)$$

$$\text{C. I. C.} = \text{C. I. C. E.} + \text{meq/100 g de suelo } (\text{Al}^{+++} + \text{H}^+)$$

$$\text{S. B. (\%)} = \frac{\text{C. I. C. E.}}{\text{C. I. C.}} \times 100$$

La calificación del porcentaje de saturación de bases es la siguiente:

- **Menor de 35%: Baja.**

Generalmente corresponde a suelos ácidos con deficiencias de bases intercambiables principalmente calcio, magnesio y potasio. A estos suelos se les denomina desaturados (7).

- **Entre 35 a 50%: Media.**

Generalmente corresponde a suelos moderados o ligeramente ácidos. Existe en el suelo una disponibilidad aceptable de calcio, magnesio y potasio para las plantas (7)

- **Mayor de 50%: Alta.**

Ordinariamente corresponde a suelos neutros o ligeramente alcalinos. Pueden dominar el complejo de cambio, bases como el calcio y sodio. A estos suelos se les denomina saturados (7).

Para determinar el porcentaje de saturación de los diferentes cationes que conforman la fase intercambiable del suelo, se aplican las siguientes fórmulas:

$$S. Ca (\%) = \frac{\text{meq de } Ca^{++}}{C. I. C.} \times 100$$

$$S. K (\%) = \frac{\text{meq de } K^{+}}{C. I. C.} \times 100$$

$$S. Al (\%) = \frac{\text{meq de } Al^{+++}}{C. I. C.} \times 100$$

$$S. Mg (\%) = \frac{\text{meq de } Mg^{++}}{C. I. C.} \times 100$$

$$S. Na (\%) = \frac{\text{meq de } Na^{+}}{C. I. C.} \times 100$$

d). **MILIEQUIVALENTES POR LITRO (meq/litro).**

Esta unidad es usada en los resultados de muchos análisis, principalmente, aquellos que reportan cationes y aniones en solución. Indica el número de miliequivalentes (meq) que se encuentran en un litro de solución.

Por ejemplo, si una solución tiene 1 meq/litro de Na, quiere decir que en 1 litro de esta se encuentran disueltos 0.023 g de este elemento (7).

e). DECISIEMENS POR METRO (dS/m).

Esta unidad es empleada en el análisis de suelos para reportar la conductividad eléctrica (CE) o concentración de sales solubles en el suelo: salinidad.

El decisiemens por metro (dS/m) es una unidad del Sistema Internacional que es equivalente a milimhos por centímetro (mmhos/cm), que anteriormente se expresaba en unidades americanas la conductividad eléctrica o salinidad del suelo (7).

En algunos análisis de suelos puede aparecer reportada la conductividad eléctrica (C.E.) en micro siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), desisiemens por centímetro (dS/cm) o en mili siemens por centímetro (mS/cm). Se debe conocer las siguientes equivalencias:

$$\frac{\mu\text{S}/\text{cm}}{1\ 000} = \text{mmho}/\text{cm}$$

$$\frac{\text{dS}}{\text{cm}} \times 100 = \text{mmho}/\text{cm}$$

$$\frac{\text{mS}}{\text{cm}} = \frac{\text{dS}}{\text{m}} = \text{mmho}/\text{cm}$$

f). OTRAS RELACIONES Y EQUIVALENCIAS

Si desea hacer otras transformaciones entre unidades, apoyado en los conceptos tratados anteriormente se debe aplicar las siguientes formulas:

- **mg/litro = mg/kg = ppm**
- **ppm = meq/100 g x peso equivalente x 10**
- **ppm = meq/litro x peso equivalente**
- **meq/100 = ppm/peso equivalente x 10**
- **meq/100g = (meq/litro)/10**
- **kg/ha = cmol/litro x peso equivalente x 20**

En el cuadro 10 se presentan las transformaciones entre unidades que se utilizan en el análisis químico de suelos.

Cuadro 10. Transformaciones entre unidades que se utilizan en el análisis químico de suelos.

	%	ppm	meq/100g	kg/ha	lb/ha	kg/acre
%	1	$n \times 10^{-4}$	$\frac{n}{meq}$	$2 n \times 10^4$	$4.4 n \times 10^4$	$8 n \times 10^3$
ppm	$n \times 10^{-4}$	1	$\frac{n}{Eq \times 10}$	$2 n$	$4.4 n$	$0.8 n$
meq/100g	$meq \times 10$	$10 n \times Eq$	1	$20 n \times Eq$	$4.4 n \times Eq$	$8 n \times Eq$
kg/ha	$5 n \times 10^{-5}$	$0.5 n$	$\frac{n}{20 \times Eq}$	1	$2.2 n$	$0.4 n$
lb/ha	$2.3 n \times 10^{-5}$	$0.23 n$	$\frac{2.3 n}{100 \times Eq}$	$0.454 n$	1	$0.84 n$
kg/acre	$1.25 n \times 10^{-5}$	$1.25 n$	$\frac{1.25 n}{10 \times Eq}$	$2.5 n$	$5.5 n$	1

5. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS CULTIVOS.

La cantidad de nutrimento que requiera o absorba un cultivo durante su ciclo de vida está en función directa al rendimiento de ese cultivo. Datos de estos requerimientos nutricionales para diferentes cultivos, con diferentes rendimientos y en diferentes lugares, es posible hallarlos en la literatura (cuadros 11 y 12). Sin embargo, también pueden tratar de hacerse estimaciones locales sobre este consumo, que contribuyan a mejorar la dosificación de fertilizantes químicos a usar (4).

Es conocido que las diferentes especies cultivadas no tienen los mismos requerimientos nutricionales. Así, por ejemplo: la papa, el banano y la caña de azúcar necesitan potasio en mayor cantidad que otros cultivos; la alfalfa extrae más calcio y magnesio que otros; el fósforo es consumido en menor cantidad que el nitrógeno y el potasio por la mayoría de cultivos (7).

Conociendo el requerimiento nutricional de los cultivos para una determinada producción y la disponibilidad natural de nutrientes existentes en el suelo a cultivar, calculada mediante el análisis de suelos, es posible obtener un plan de fertilización química económicamente racional que logre, ayudado de los otros factores de manejo agronómico (adecuada técnica de uso de labranza, semilla certificada, riego, control sanitario, etc.), para maximizar los rendimientos (7).

De esta manera se ven aprovechadas para el productor las bondades o atributos que presenta el suelo como despensa natural de nutrientes, al incluirse en los planes de fertilización solamente las cantidades de nutrientes faltantes en el suelo para una maximización de los rendimientos (7).

Es necesario establecer una diferencia entre los siguientes conceptos: “requisito total” y “exportación”. Ambos conceptos se asocian a un determinado valor de rendimiento de producto comercial, sin embargo, el primero se refiere a la absorción total de nutrimentos (incluyendo la que se invierte en formación de todo el resto de la planta que no es el producto comercial) que hace la planta o la plantación para producir ese determinado rendimiento, mientras que la exportación solo está considerando aquella cantidad de nutrimento que se consumió para elaborar el producto comercial, y que al cosecharse éste, va a ser retirada del campo (4).

Este es un dato extremadamente fácil de obtener, pues solo se requiere asociar los rendimientos obtenidos, con las concentraciones de los nutrimentos determinadas en un análisis de una muestra representativa de ese producto. De esta manera se puede conocer la cantidad mínima neta que fue extraída y por lo tanto debe reponerse al sistema para el próximo ciclo (4).

Mejores estimaciones de dosis pueden lograrse si se usan los requisitos totales de los cultivos, especialmente en cultivos anuales, sin embargo, estos valores son difíciles de obtener para cultivos perennes. En los cultivos perennes, por lo general, se trabaja con datos de exportación, o sea, la remoción efectuada por la cosecha (4).

Cuadro 11. Requerimientos nutricionales de varios cultivos: cereales, tubérculos, hortalizas, leguminosas y oleaginosas.

Cultivo	Rendimiento t/ha	Absorción de nutrientes				
		kg/ha				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
Cereales						
Cebada	5	150	55	150	25	20
Trigo	6	170	75	175	30	30
Avena	4	150	45	160	15	20
Maíz	6	120	50	120	40	25
Sorgo	4	120	40	100	30	15
Arroz	6	100	50	160	20	10
Tubérculos						
Papa	40	175	80	310	40	20
Yuca	40	150	70	350	40	20
Batata	40	190	75	340	65	-
Ñame	35	140	40	190	20	-
Hortalizas						
Tomate	50	140	65	190	25	25
Espárragos	5	120	60	150	20	-
Zanahoria	30	120	55	200	30	-
Coliflor	50	250	100	350	30	-
Repollo	40	175	69	200	38	-
Apio	30	200	80	300	25	-
Lechuga	30	90	35	160	15	-
Cebolla	35	85	50	160	15	20
Remolacha	30	150	50	220	50	-
Espinacas	25	120	45	200	35	-
Berenjena	60	175	40	300	30	10
Pepino	40	170	50	120	60	-
Leguminosas						
Haba	2.4	160	45	120	20	-
Fréjol	2.5	105	10	120	10	-
Guisante	2.0	125	35	80	15	-
Alfalfa	-	170	46	150	25	-
Oleaginosas						
Soya	3.0	220	40	170	40	20
Palma africana	25.0 ¹	90	60	300	100	30
Girasol	3.0	120	60	240	55	15
Cocotero	10 000.0 ²	130	60	200	50	15
Maní	2.0	170	30	110	20	15
Colza	30	165	70	220	30	65

1. Racimos.

2. Número de cocos.

Fuente: GUERRERO (11).

Cuadro 12. Requerimientos nutricionales de varios cultivos: estimulantes, frutales y pastos.

Cultivo	Rendimiento t/ha	Absorción de nutrientes kg/ha				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
Estimulantes						
Café	15.0 ¹	120	30	130	30	20
Cacao	10.0 ²	100	46	240	10	-
Tabaco	2.0 ³	130	40	240	25	10
Té	2.5	160	50	90	15	-
Pimienta negra	7.0 ⁴	240	40	210	30	-
Caña de azúcar	100.0	130	90	340	80	60
Algodón	3.0	150	90	160	40	20
Caucho	-	420	26	160	-	-
Frutales						
Manzana	25	100	45	180	40	-
Durazno	35	205	45	236	42	-
Ciruelo	-	100	80	160	-	-
Peral	35	155	40	200	20	-
Mora	-	80	40	90	20	20
Tomate de árbol	-	120	40	140	20	25
Cítricos	30	270	60	350	40	30
Lulo	-	100	35	100	25	20
Piña	50	185	55	350	110	20
Papaya	50	90	25	130	15	10
Maracuyá	20	80	15	120	10	20
Aguacate	15	40	25	80	10	-
Banano	40	250	60	1.00	140	15
Mango	15	100	25	110	75	-
Vid	20	170	60	220	60	30
Pastos						
Guinea	10	107	62	216	82	-
	23	288	100	435	164	-
	35	560	176	720	220	-
Pangola	10	120	50	216	46	-
	23	299	107	430	111	-
	31	400	121	669	144	-
Elefante	10	144	54	216	50	-
	25	302	146	604	104	-
Pará	8	80	39	192	26	-
	24	307	98	459	131	-
	30	600	158	792	109	-

1. Pergamino.

2. Producto seco.

3. Hoja seca.

4. Fruto seco.

Fuente: GUERRERO (11).

6. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS.

La interpretación es la etapa más importante y difícil del análisis de suelos. Como el objetivo de la interpretación es el de hacer un diagnóstico integral de la aptitud física y química del suelo para un uso específico, no solamente consiste en transformar los datos de los análisis a términos de contenido, si no que es necesario, además de los resultados analíticos registrados por el laboratorio, conocer el ambiente climático en el cual se desarrolla la especie, su fisiología y manejo agronómico más característicos (7, 20).

Si estos aspectos se logran interrelacionar con la experiencia del productor, es posible definir acertadamente y con antelación a la siembra recomendaciones sobre:

- Selección del sistema más apropiado de labranza.
- Selección de la variedad a sembrar.
- Época de siembra.
- Sistema de siembra (densidades de población).
- Necesidad de enclavamiento.
- Fuentes, dosis, épocas y formas de aplicación de los fertilizantes químicos y abonos.

Existen dos modalidades para interpretar el análisis químico del suelo:

a). TABLAS GUÍAS.

Este es un método cualitativo basado en tablas guías en donde aparecen consideraciones generales para interpretar los resultados del análisis químico de suelos, con base en los niveles críticos (alto, medio, bajo) de suficiencia en el suelo de cada uno de los elementos que contemplan la nutrición vegetal.

Este método, aunque es el más comúnmente utilizado, no es el más preciso ni recomendable; sin embargo, es necesario tener en cuenta que los datos consignados en estas Tablas son producto de investigación (7).

En el cuadro 4 elaborado por el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, resume en su totalidad la apreciación de los diferentes niveles de nutrientes en el suelo, tanto para la sierra y costa ecuatoriana y puede ser utilizada preliminarmente para evaluar la fertilidad del suelo.

A continuación se presentan algunos parámetros, que pueden servir de guía y que han sido obtenidos mediante la investigación por parte del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

1). El pH.

- 0.0 a < 5.0: Muy Ácido.

Necesidad de encalar para la mayoría de los cultivos; posible toxicidad de Al y Mn; deficiencia de P, Ca, Mg, Mo y N (20).

- 5.0 a < 5.5: Ácido.

Necesidad de encalar para la mayoría de los cultivos; posible toxicidad de Al y Mn; deficiencia de P, Ca, Mg, Mo y N (20).

- > 5.5 a 6.0: Medianamente Ácido.

Baja solubilidad del P y regular disponibilidad de Ca y Mg; algunos cultivos como las leguminosas requieren encalamiento (20).

- > 6.0 a 6.5: Ligeramente Ácido.

Condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos (20).

- 7.0: Neutro.

Condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos (20).

- > 6.5 a 7.5: Prácticamente Neutro.

Buena disponibilidad de Ca y Mg; moderada disponibilidad de P; baja disponibilidad de los microelementos con excepción del Mo (20).

- > 7.5 a 8.0: Ligeramente Alcalino.

Posible exceso de Ca, Mg y carbonatos; baja solubilidad del P y microelementos con excepción del Mo; posible necesidad de tratar el suelo con enmiendas como por ejemplo el yeso. Se inhibe el desarrollo de varios cultivos (20).

- > 8.0 a 8.5: Medianamente Alcalino.

Posible exceso de sodio intercambiable; se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos; se tiene la necesidad de tratar el suelo con enmiendas (20).

- > 8.5: Alcalino.

Exceso de sodio intercambiable; se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos; existiendo la necesidad de tratar el suelo con enmiendas (20).

2). La acidez intercambiable.

La acidez intercambiable en la mayoría de los suelos está constituida por Al y el H intercambiables. En los suelos minerales predomina el Al. Generalmente, a valores de pH por debajo de 5.5 en suelos minerales y por debajo de 5.0 en suelos orgánicos, existen problemas con el aluminio (7).

Criterios muy generales para considerar el Al como problema en los suelos:

- Si el análisis indica valores superiores a 2 meq de Al intercambiable.
- Sí la relación.

$$\frac{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}}{\text{Al}} < 1$$

- Si el porcentaje del Al dentro de los cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na) es mayor de 25.

3). Nitrógeno total.

Normalmente los suelos de clima frío contienen más nitrógeno total que los de clima cálido, pero el suministro es menor debido a la baja tasa de mineralización (7).

4). La Materia Orgánica.

A medida que disminuye la temperatura, el contenido de materia orgánica aumenta debido a la baja tasa de mineralización de ésta. Por existir relación inversa entre altitud y temperatura, se ha encontrado correlación positiva entre el contenido de materia orgánica y la altura sobre el nivel del mar. En términos generales, el 5% de la materia orgánica corresponde al Nitrógeno Total y de esta el 1% es el Nitrógeno Disponible (7).

En el cuadro 3 se observa el estimativo conceptual de la materia orgánica en los suelos.

La materia orgánica es fuente principalmente de Nitrógeno, Fósforo, Azufre y de algunos elementos menores. Además, mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad amortiguadora (buffer) y tiene gran influencia en la capacidad de intercambio catiónico. Cada 1 % de materia orgánica representa en general, 2 meq/100 g de suelo en la medida de la C. I. C. (13).

5). Relación Carbono-Nitrógeno. C/N.

Resulta de dividir el porcentaje (%) de Carbono por el porcentaje (%) de Nitrógeno (13).

Una calificación de esta relación es la siguiente:

- < 20: **Baja. Indica alta mineralización.**
- 20 a 30: **Media. Indica mineralización normal.**
- > 30: **Alta. Indica alta inmovilización.**

La relación C/N en la materia orgánica del suelo, es casi siempre de 8 a 1 hasta de 15 a 1; siendo el término medio de 10 ó 12 a 1. Esta relación es muy importante. La competencia por el nitrógeno asimilable aparece cuando la relación es alta; lo que equivale a decir, que el aporte de nutrimentos por parte de la materia orgánica es poco eficiente. Cuando la relación es baja, seguramente la materia orgánica da buenos suministros de algunos nutrimentos (20).

Esta relación es aproximadamente en los vegetales de 90 a 1 que son altísimas y en el estiércol de 30 a 1. Al ser incorporados estos materiales al suelo, ocurre un cambio rápido, los microorganismos se multiplican rápidamente, tomando el nitrógeno disponible en el suelo y abandonando carbono en forma de CO₂ bajo estas condiciones, el nitrógeno del suelo desaparece prácticamente, debido a la gran demanda por parte de los microorganismos, de tal manera que a las plantas no les queda nada. Cuando ocurre la desintegración, la relación C/N de los materiales incorporados decrece, pues el carbono se va perdiendo, en cambio el nitrógeno se conserva (20).

La anterior situación permanece hasta cuando los materiales se han humificado. En este momento, la actividad de los microorganismos decrece. La relación C/N disminuye pues gran parte del Carbono ha salido en forma de CO₂ (20).

Al morir los microorganismos, le devuelven al suelo el nitrógeno y se forman nitratos. En esta condición, el nitrógeno es tomado por las plantas o es lixiviado. Después de cierto tiempo, la relación se torna más o menos constante, o sea cerca de 10 ó 12 a 1. La velocidad de todos estos procesos está influenciada por el clima, siendo más activa en climas cálidos (20).

6). Fósforo aprovechable.

Para extraer el fósforo en el suelo existen varios métodos. Uno de ellos es el método Olsen Modificado, que es el que emplea el INIAP. Los valores estimados de fósforo aprovechable en cultivos en general se presentan en el cuadro 4.

La clasificación de los suelos en categorías baja, media y alta para este elemento, está basada en la probabilidad de respuesta de la cosecha, a la adición de fertilizantes fosfatados (20).

En la categoría baja, la probabilidad de respuesta a la aplicación de un fertilizante fosforado es alta; es decir, existe mayor producción al fertilizar; en cambio, para un suelo con categoría alta en fósforo indica que al fertilizar, la respuesta en producción va a ser nula (20).

Es importante recordar que al hacer la recomendación de un fertilizante fosfatado, se deben tener en cuenta varios factores: ensayos regionales, fósforo disponible, tipo de cultivo, uso y manejo del lote, otras propiedades del suelo, fertilización nitrogenada y/o encalamiento que se va a hacer al cultivo, que va a establecerse o está establecido (20).

7). Capacidad de Intercambio de Cationes (C. I. C.).

La capacidad de intercambio de cationes está asociada directamente con la textura, tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica en el suelo (20).

Estudios recientes en el Ecuador dan resultados muy variables aun en una misma región. Es deseable que un suelo tenga una C. I. C. alta, ya que indica una gran capacidad potencial de suministro y reserva de Ca, Mg y K (20).

Un estimativo general de la C. I. C. en los suelos es la siguiente:

- < 10 meq/100 g de suelo: **Baja**
- 10 a 20 meq/100 g de suelo: **Media**
- > 20 meq/100 g de suelo: **Alta.**

8) Bases intercambiables: Ca, Mg, K y Na.

Además de los niveles críticos para estos elementos (cuadro 4); se debe tener en cuenta la relación en que se encuentran unos con otros. El término bases intercambiables, hace referencia a la suma de las bases Ca, Mg, K y Na en forma intercambiable en el suelo expresadas en miliequivalentes por 100 g de suelo (cuadro 13) (20).

Además de los anteriores niveles, se deben tener en cuenta las distintas relaciones entre bases; así por ejemplo, cuando un suelo tiene problemas de aluminio intercambiable y con un pH igual o menor a 5.5; pero adicionalmente la relación Ca/Mg es amplia (mayor de 4), se recomienda aplicar cal dolomita, en cambio de la cal agrícola, para tratar de disminuir la relación entre estos dos elementos, ya que la cal dolomita tiene Mg. Se debe tener en cuenta que si la relación Mg/K < 1, se puede presentar deficiencia de magnesio, por lo cual se recomienda aplicar al suelo (20).

Cuadro 13. Relaciones de las bases cambiables.

Relación meq/100 g de suelo	Bajo	Optimo	Alto
Ca/Mg	< 2	2 – 5	> 5
Mg/K	< 2.5	2.5 – 15	> 15
(Ca + Mg)/K	< 10	10 – 40	> 40
Ca/K	< 5	5 – 25	> 25

9. Conductividad eléctrica. (C. E.).

La conductividad eléctrica es un índice de la salinidad, así como el porcentaje de saturación de sodio lo es de la sodicidad del suelo (20).

En el cuadro 3 se realiza una evaluación de la salinidad del suelo.

En general, por encima de 4 milimhos/cm se restringe el rendimiento de muchos cultivos y se debe recuperar el suelo (7).

10). Elementos menores.

Se expresa en partes por millón presentes en el suelo. Por debajo de los niveles críticos, se presenta deficiencia de los elementos menores (cuadro 4).

b). DISPONIBILIDAD EN EL SUELO Y DEMANDA DEL CULTIVO.

Este es un método cuantitativo. Los cálculos que se efectúan para éste método, están basados en equivalencias, transformaciones químicas y la eficiencia del fertilizante químico aplicado (7).

En este caso el procedimiento consiste en recopilar la información a partir de las diferentes fuentes, indicando en cada caso la procedencia y el tipo de suelo en que se obtuvo el resultado; homogenizando su forma de expresión, de modo que todas las recomendaciones queden referidas en las mismas unidades (4, 7).

Finalmente, mediante el análisis y la comparación de los datos reunidos, se pueden establecer los ámbitos más comunes usados para cada elemento en el cultivo específico (4, 7).

Después de obtener este dato básico, la decisión sobre la dosis a escoger dentro de ese ámbito deberá hacerse tomando en cuenta la eficiencia de la fertilización esperable en la circunstancia en concreto, de modo que esta elección será mejor en el grado en que se tenga un buen conocimiento del suelo y del clima del sitio específico (4, 7).

Para circunstancias en las que se espera alta eficiencia de los fertilizantes químicos aplicados se usarán las dosis más bajas del ámbito, y conforme se suponga tener una eficiencia menor, se irán utilizando las dosis mayores (4, 7).

A continuación se presentan algunos parámetros, que pueden servir de guía para comprender éstos cálculos sobre la base de dos fórmulas propuestas por:

- **Fórmula propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).**

$$\text{Necesidad Efectiva de Nutriente} = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Disponibilidad en el suelo}}{\text{Eficiencia del fertilizante}}$$

- **Fórmula propuesta por CALVACHE (6).**

$$\text{Necesidad Efectiva de Nutriente} = \frac{\text{Demanda del cultivo}}{\text{Eficiencia del fertilizante}} - \text{Disponibilidad en el suelo}$$

1). Disponibilidad en el suelo.

La disponibilidad en el suelo corresponde a la cantidad de elemento que tiene ese momento el suelo (análisis químico de suelos). Con las cantidades presentes en el suelo existe el inconveniente que a pesar de que una solución extractora muestre buena correlación con los rendimientos de campo y sea muy útil para el diagnóstico de los problemas, no necesariamente, el valor del elemento que se obtiene con ella es la cantidad que realmente la planta puede tomar del suelo (4).

Incluso, pueden existir dos o más soluciones extractoras que tengan muy buena correlación, pero que extraigan diferentes cantidades del elemento. Además, el análisis de suelo expresa la situación en un momento dado sin considerar la dinámica que puede ocurrir a lo largo del ciclo del cultivo, especialmente cuando este es muy largo (4).

Sin embargo, considerar los datos de un análisis de suelos en términos de kg/ha que puedan compararse con los otros factores, puede resultar de mucha utilidad para adquirir perspectiva (4).

2). Demanda del cultivo.

La demanda del cultivo o los requisitos nutricionales totales de un cultivo se refieren a la cantidad (generalmente expresada en kg/ha) de elemento puro que consume una plantación desde la siembra hasta la cosecha, y se obtienen al multiplicar la concentración de cada elemento en una planta entera al final de su ciclo productivo, por el peso seco de esa planta, considerando luego, el número de plantas/ha (4).

Por ejemplo, si una planta de maíz (grano y paja) pesa 70 g en peso seco y la concentración de nitrógeno en esa biomasa total es de 2.5%, cada planta extraerá 1.75 g de nitrógeno que multiplicados por una densidad por hectárea de 33 000 plantas, corresponderá a 58 kg N/ha (4).

Los requerimientos varían según el rendimiento potencial de producción que manifieste cada variedad en determinadas condiciones climáticas, de suelo y de manejo. De esta manera, para obtener un rendimiento de 10 t/ha se requerirá el doble de nutrimentos que para producir 5 t/ha (4).

También, cada variedad tiene su propia potencialidad genética que se expresará en forma variable según sean las condiciones ambientales, las características físicas, químicas y biológicas del suelo, y el nivel tecnológico que se le aplique, por lo tanto, en la medida que se conozcan, deben utilizarse los datos de las variedades y los sitios más semejantes de donde está el estudio (4).

Estos datos sobre requisitos de los cultivos asociados a un rendimiento determinado pueden tratar de calcularse para la situación específica que se estudia, o es posible obtener aproximaciones en la literatura (4).

3). Eficiencia del fertilizante.

La eficiencia del fertilizante suele definirse como la proporción (%) de nutrientes utilizados por el cultivo, en relación con la cantidad total aplicada en la fertilización (11).

Constituye el eje central de la fórmula, es un valor que reúne criterios sobre:

- Propiedades del nutrimento.
- Características del suelo.
- Características de la fuente fertilizante.
- Método y época de aplicación.
- Condiciones climáticas.

Una estimación errada de este factor lleva al traste cualquier cálculo, por eso se debe usarla con cuidado y sobretodo, aprovechar las conclusiones que sobre el suelo se pueden establecer al hacer este análisis (4).

En el cuadro 14 se presenta valores promedios de las eficiencias de uso de los fertilizantes para algunos suelos y cultivos estudiados en el Ecuador. Los valores más altos son para suelos menos fértiles y para cultivos que tienen poco desarrollo radicular (6).

Cuadro 14 . Eficiencia de utilización de los fertilizantes químicos para algunos suelos y cultivos.

Elemento	Eficiencia %
Nitrógeno (N)	60 - 80
Fósforo (P)	10 - 30
Potasio (k)	50 - 70
Calcio (Ca)	60 - 80
Magnesio (Mg)	60 - 80
Azufre (S)	40 - 50
Zinc (Zn)	20 - 50
Boro (B)	20 - 50
Cobre (Cu)	20 - 50
Manganeso (Mn)	20 - 50

Cuando la disponibilidad de nutrientes en el suelo es mayor que la demanda del cultivo, no se aplican fertilizantes químicos.

7. CACULO DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA

Una adecuada recomendación de fertilización química, basada en fundamentos técnicos, es el resultado de la conducción adecuada de todo el complejo analítico (15).

Sin embargo, es necesario tener en cuenta otros aspectos como: compatibilidad, solubilidad y movilidad de los fertilizantes, época y forma de aplicación, tipo de suelo, correcciones y enmiendas del suelo, mejora de las características físicas, mantenimiento del nivel de fertilidad, disponibilidad de agua, especie vegetal, etc (15).

Al recomendar el uso de fertilizantes se tiene que evitar que se produzca toxicidad, antagonismo y desbalance debido a la selectividad que tienen algunos cultivos (15).

Existen dos modalidades para realizar las recomendaciones de fertilización en base al análisis químico del suelo:

a. TABLAS GUÍAS.

Tomando como ejemplo, se desarrollará a continuación un ejercicio práctico aplicado al cultivo de la papa.

1). Análisis químico de suelos.

Los resultados obtenidos en el análisis químico de suelos tenemos en el cuadro 15.

Cuadro 15. Análisis químico de suelos.

Número de la Muestra	Lote	Elementos			
		ppm			meq/100 g
		N	P	S	K
42038		5	11	13	0.21

Estos resultados posteriormente son interpretados en base a los niveles críticos del INIAP para el cultivo de la papa, que se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Niveles Críticos para la interpretación del análisis químico de suelos en el cultivo de la papa.

Nutriente	Unidad	Sierra		
		Bajo	Medio	Alto
N-NH ₄	ppm	< 30.0	30.0 - 60.0	> 60.0
P	ppm	< 40.0	40.0 - 80.0	> 80.0
S	ppm	< 12.0	12.0 - 24.0	> 24.0
K	meq/100 g	< 0.2	0.2 - 0.38	> 0.38

Como resultado de esta interpretación tenemos: bajo en nitrógeno, bajo en fósforo, medio en potasio y medio en azufre, como se aprecia en el cuadro 17.

Cuadro 17. Análisis químico de suelos con la interpretación de los niveles críticos para el cultivo de la papa.

Número de la Muestra	Lote	Elementos							
		ppm				meq/100 g			
		N	P	S	K				
42038		5	B	11	B	13	M	0.21	M

2). Tabla guía.

Con la finalidad de realizar una recomendación más aplicada del análisis químico de suelos, el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas del INIAP, elaboró una “Guía de Recomendaciones de Fertilización para los principales cultivos del Ecuador”, basado en los resultados de pruebas regionales de experimentación sobre fertilización de cultivos, efectuados por más de 30 años en el país (18, 21).

En el cuadro 18 se presenta la tabla guía de recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa.

Cuadro 18. Tabla guía de recomendaciones de fertilización química para el cultivo de la papa.

Análisis de Suelo	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Bajo	150 - 200	300 - 400	100 - 150	40 - 60
Medio	100 - 150	200 - 300	60 - 100	20 - 40
Alto	50 - 100	100 - 200	40 - 60	20

(Nivel crítico de P₂O₅ es de 40 ppm).

3). Recomendación de fertilización química.

En base a los resultados del análisis químico de suelos y la tabla guía de recomendación de fertilización química; se calculan regresiones lineales para obtener los valores de N, P₂O₅, K₂O y S en kg/ha y se tiene la recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa, cuadro 19.

Cuadro 19. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Tabla Guía para el cultivo de la papa.

Cultivo	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Papa	191.67	372.50	100.00	38.33

Se debe mencionar que cuando se tienen resultados del análisis químico de suelos con interpretaciones altas que sobre pasan los valores del nivel crítico, en los elementos como N, P₂O₅, K₂O y S se recomienda aplicar cantidades de reserva de nutrientes que corresponden a valores que se presenta en el cuadro 20.

Cuadro 20. Reserva de fertilización química para el cultivo de la papa.

Reserva del cultivo	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Papa	50.00	200.00	40.00	20.00

4). Fertilización química.

Las cantidades de nutrimento para satisfacer éstas recomendaciones se pueden usar fertilizantes simples o compuestos (18).

a). Fertilizantes químicos simples.

Para realizar los cálculos de la recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa utilizando fertilizantes simples se procede:

- Fuentes Fertilizantes.

Los fertilizantes simples que se utilizarán para éste cálculo se indican en el cuadro 21.

Cuadro 21. Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos simples.

Fertilizantes químicos simples	Contenido de nutrientes y concentración (%)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Urea	46			
Superfosfato Triple		46		
Muriato de Potasio			60	
Azufre Elemental				99

- Cálculo para Nitrógeno.

Como fuente de nitrógeno se utilizará Urea.

$$\begin{array}{rcl} 46 \text{ kg de N} & \text{—————} & 100 \text{ kg de Urea} \\ 191.67 \text{ kg de N requeridos} & \text{—————} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg de Urea} = \frac{100 \text{ kg de Urea} \times 191.67 \text{ kg de N requeridos}}{46 \text{ kg de N}}$$

$$X = 416.67 \text{ kg de Urea/ha.}$$

- **Cálculo para Fósforo.**

Como fuente de fósforo se utilizará Superfosfato Triple.

$$\begin{array}{rcl} 46 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 & \text{-----} & 100 \text{ kg de Superfosfato Triple} \\ 372.50 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ requeridos} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg de SFT} = \frac{100 \text{ kg de Superfosfato Triple} \times 372.50 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ requeridos}}{46 \text{ kg de P}_2\text{O}_5}$$

$$X = 809.78 \text{ kg de Superfosfato Triple/ha.}$$

- **Cálculo para Potasio.**

Como fuente de potasio se utilizará Muriato de Potasio.

$$\begin{array}{rcl} 60 \text{ kg de K}_2\text{O} & \text{-----} & 100 \text{ kg de Muriato de Potasio} \\ 100 \text{ kg de K}_2\text{O} \text{ requeridos} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg Muriato potasio} = \frac{100 \text{ kg de Muriato de Potasio} \times 100 \text{ kg de K}_2\text{O} \text{ requeridos}}{60 \text{ kg de K}_2\text{O}}$$

$$X = 166.67 \text{ kg de Muriato de Potasio/ha.}$$

- **Cálculo para Azufre.**

Como fuente de azufre se utilizará Azufre Elemental.

$$\begin{array}{rcl} 99 \text{ kg de S} & \text{-----} & 100 \text{ kg de Azufre Elemental} \\ 38.33 \text{ kg de S} \text{ requeridos} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg de Azufre} = \frac{100 \text{ kg de Azufre} \times 38.33 \text{ kg de S} \text{ requeridos}}{99 \text{ kg de S}}$$

$$X = 38.72 \text{ kg de /ha.}$$

- **Recomendación utilizando fertilizantes químicos simples.**

En el cuadro 22 se presentan los resultados de los cálculos de recomendación utilizando fertilizantes simples.

Cuadro 22. Recomendación final utilizando fertilizantes químicos simples para el cultivo de la papa.

Fertilizantes químicos simples	Cantidad recomendada	
	kg/ha	Sacos de 50 kg/ha
Urea	416.67	8.33
Superfosfato Triple	809.78	16.20
Muriato de Potasio	166.67	3.33
Azufre Elemental	38.72	0.77

b). Fertilizantes químicos compuestos.

Para realizar los cálculos de la recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa utilizando fertilizantes compuestos se procede:

- Fuentes Fertilizantes.

Los fertilizantes químicos compuestos que se utilizarán para éste cálculo se indican en el cuadro 23.

Cuadro 23. Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos simples y compuestos.

Fertilizantes químicos simples y compuestos	Contenido de nutrientes y concentración (%)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Nitrato de Amonio	33			
18-46-00	18	46		
Muriato de Potasio			60	
Sulpomag			22	22

- Cálculo para Fósforo.

Como fuente de fósforo se utilizará 18-46-00.

$$\begin{array}{r} 46 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \\ 372.50 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ requeridos} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \quad \begin{array}{l} 100 \text{ kg de 18-46-00} \\ X \end{array}$$

$$X \text{ kg de 18-46-00} = \frac{100 \text{ kg de 18-46-00} \times 372.50 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ requeridos}}{46 \text{ kg de P}_2\text{O}_5}$$

$$X = 809.78 \text{ kg de 18-46-00/ha.}$$

- Cálculo para Nitrógeno.

Cantidad de nitrógeno en el 18-46-00.

$$\begin{array}{r} 100 \text{ kg de 18-46-00} \\ 809.78 \text{ kg de 18-46-00} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \quad \begin{array}{l} 18 \text{ kg de N} \\ X \end{array}$$

$$X \text{ kg de N} = \frac{18 \text{ kg de N} \times 809.78 \text{ kg de 18-46-00}}{100 \text{ kg de 18-46-00}}$$

$$X = 145.76 \text{ kg de N/ha.}$$

Para completar los 200 kg de N requeridos se calcula.

$$191.67 \text{ kg de N recomendados} - 145.76 \text{ kg de N del 18-46-00} = 45.91 \text{ kg de N.}$$

$$\text{N requeridos} = 45.91 \text{ kg de N.}$$

Como fuente de nitrógeno se utilizará Nitrato de Amonio.

$$\begin{array}{rcl} 33 \text{ kg de N} & \text{-----} & 100 \text{ kg de Nitrato de Amonio} \\ 45.91 \text{ kg de N requeridos} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg de N. amonio} = \frac{100 \text{ kg de N. amonio} \times 45.91 \text{ kg de N requeridos}}{33 \text{ kg de N}}$$

$$X = 139.12 \text{ kg de Nitrato de Amonio/ha.}$$

- **Cálculo para Azufre.**

Como fuente de azufre se utilizará Sulpomag.

$$\begin{array}{rcl} 22 \text{ kg de S} & \text{-----} & 100 \text{ kg de Sulpomag} \\ 38.33 \text{ kg de S requeridos} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg de Sulpomag} = \frac{100 \text{ kg de Sulpomag} \times 38.33 \text{ kg de S requeridos}}{22 \text{ kg de S}}$$

$$X = 174.24 \text{ kg de Sulpomag/ha.}$$

- **Cálculo para Potasio.**

Cantidad de potasio en el Sulpomag.

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ kg de Sulpomag} & \text{-----} & 22 \text{ kg de K}_2\text{O} \\ 174.24 \text{ kg de Sulpomag} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg de K}_2\text{O} = \frac{22 \text{ kg de K}_2\text{O} \times 174.24 \text{ kg de Sulpomag}}{100 \text{ kg de Sulpomag}}$$

$$X = 38.33 \text{ kg de K}_2\text{O/ha.}$$

Para completar los 100 kg de K₂O requeridos se calcula.

$$100 \text{ kg de K}_2\text{O} - 38.33 \text{ kg de K}_2\text{O del Sulpomag} = 61.67 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

$$\text{K}_2\text{O requeridos} = 61.67 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

Como fuente de potasio utilizá Muriato de Potasio.

$$\begin{array}{rcl} 60 \text{ kg de K}_2\text{O} & \text{-----} & 100 \text{ kg de Muriato de Potasio} \\ 61.67 \text{ kg de K}_2\text{O requeridos} & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X \text{ kg Muriato de potasio} = \frac{100 \text{ kg de Muriato de Potasio} \times 61.67 \text{ kg de K}_2\text{O}}{60 \text{ kg de K}_2\text{O}}$$

$$X = 102.78 \text{ kg de Muriato de Potasio/ha.}$$

- **Recomendación utilizando fertilizantes químicos compuestos.**

En el cuadro 24 se presentan los resultados de los cálculos de recomendación usando fertilizantes compuestos.

Cuadro 24. Recomendación final utilizando fertilizantes químicos simples y compuestos para el cultivo de la papa.

Fertilizantes químicos simples y compuestos	Cantidad recomendada	
	kg/ha	Sacos de 50 kg/ha
Nitrato de Amonio	139.12	2.78
18-46-00	809.78	16.20
Muriato de Potasio	102.78	2.06
Sulpomag	174.24	3.48

b. DISPONIBILIDAD EN EL SUELO Y DEMANDA DEL CULTIVO.

1). Fórmula propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).

Estos cálculos se basan en la fórmula:

$$\text{Necesidad Efectiva de Nutriente} = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Disponibilidad en el suelo}}{\text{Eficiencia del fertilizante}}$$

Para entender este método, se desarrollará a continuación un ejercicio práctico aplicado al cultivo de papa.

a). Demanda del cultivo.

La demanda del cultivo o requerimientos nutricionales del cultivo se aprecian en el cuadro 25.

Cuadro 25. Requerimientos nutricionales para el cultivo de la papa.

Cultivo	Rendimiento t/ha	<i>Absorción de nutrientes</i> kg/ha			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Papa	40.00	175.00	80.00	310.00	20.00

b). Disponibilidad en el suelo.

La disponibilidad en el suelo u oferta del suelo corresponde al análisis químico de suelos que se presentó en el cuadro 17.

c). Eficiencia del fertilizante.

La eficiencia del fertilizante para los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, se pueden apreciar en el cuadro 14.

d). Cálculo de la necesidad efectiva de nutriente.

Para realizar los cálculos de la necesidad efectiva de nutriente se realizará con los siguientes elementos:

- Cálculo de la necesidad efectiva de nutriente con Nitrógeno.

Transformación de N en ppm a N en kg/ha.

$$5 \text{ ppm de N} \times 2 = 10 \text{ kg/ha de N.}$$

Necesidad efectiva de nutriente nitrogenado (NENN).

$$\text{NENN} = \frac{\text{Demanda} - \text{Disponibilidad}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{NENN} = \frac{175 \text{ kg/ha de N} - 10 \text{ kg/ha de N}}{0.6}$$

$$\text{NENN} = 275.00 \text{ kg/ha de N}$$

- Cálculo de la Necesidad efectiva de nutriente con Fósforo.

Transformación de P en ppm a P₂O₅ en kg/ha.

$$11 \text{ ppm de P} \times 2.29 = 25.19 \text{ ppm de P}_2\text{O}_5$$
$$25.19 \text{ ppm de P}_2\text{O}_5 \times 2 = 50.38 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5.$$

Necesidad efectiva de nutriente fosfatado (NENP).

$$\text{NENF} = \frac{\text{Demanda} - \text{Disponibilidad}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{NENF} = \frac{80 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5 - 50.38 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5}{0.3}$$

$$\text{NENF} = 98.73 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5$$

- Cálculo de la Necesidad efectiva de nutriente con Azufre.

Transformación de S en ppm a S en kg/ha.

$$13 \text{ ppm de S} \times 2 = 26.00 \text{ kg/ha de S.}$$

Necesidad efectiva de nutriente con azufre (NENS).

$$\text{NENS} = \frac{\text{Demanda} - \text{Disponibilidad}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{NENS} = \frac{20 \text{ kg/ha de S} - 26 \text{ kg/ha de S}}{0.4}$$

$$\text{NENS} = -15 \text{ kg/ha de S}$$

En este caso se tiene un valor negativo el cual nos indica que la oferta en el suelo es mayor que la demanda del cultivo, para esto no se aplica fertilizante químico.

- **Cálculo de la Necesidad efectiva de nutriente con Potasio.**

Transformación de K en meq/100 g de suelo a K₂O en kg/ha.

$$0.21 \text{ meq de K} \times 394 = 82.74 \text{ ppm de K}$$

$$82.74 \text{ ppm de K} \times 1.20 = 99.29 \text{ ppm de K}_2\text{O}$$

$$99.29 \text{ ppm de K}_2\text{O} \times 2 = 198.58 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}.$$

Necesidad efectiva de nutriente potásico (NENK).

$$\text{NENK} = \frac{\text{Demanda} - \text{Disponibilidad}}{\text{Eficiencia}}$$

$$\text{NENK} = \frac{310 \text{ kg/ha de K}_2\text{O} - 198.58 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}}{0.5}$$

$$\text{NENK} = 222.85 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

- **Necesidad efectiva de nutrientes.**

En el cuadro 26 se presentan los resultados de la necesidad efectiva de nutrientes para el cultivo de la papa.

Cuadro 26. Necesidad efectiva de nutrientes para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).

Necesidad efectiva de nutrientes	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Demanda	175.00	80.00	310.00	20.00
Disponibilidad	10.00	58.38	198.58	26.00
Nutriente	275.00	98.73	222.85	- 15.00

- **Recomendación de fertilización química.**

Utilizando los resultados de la necesidad efectiva de nutrientes del cuadro 26, se obtiene la recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa, como se observa en el cuadro 27.

Cuadro 27. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).

Cultivo	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Papa	275.00	98.73	222.85	- 15.00

Para el cálculo de la recomendación de fertilizantes químicos simples o compuestos se seguirán los procedimientos anteriormente descritos.

2). **Fórmula propuesta por CALVACHE (6).**

Estos cálculos se basan en la fórmula:

$$\text{Necesidad Efectiva de Nutriente} = \frac{\text{Demanda del cultivo}}{\text{Eficiencia del fertilizante}} - \text{Disponibilidad en el suelo}$$

Para entender este método, se desarrollará a continuación un ejercicio práctico aplicado al cultivo de papa.

a). **Demanda del cultivo.**

La demanda del cultivo o requerimientos nutricionales del cultivo se observa en el cuadro 25.

b). **Disponibilidad en el suelo (Oferta).**

La disponibilidad en el suelo u oferta del suelo corresponde al análisis químico de suelos que se presentó en el cuadro 17.

c). **Eficiencia del fertilizante.**

La eficiencia del fertilizante para los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, se pueden apreciar en el cuadro 14.

d). **Cálculo de la necesidad efectiva de nutriente.**

Para realizar los cálculos de la necesidad efectiva de nutriente se realizará con los siguientes elementos:

- **Cálculo de la necesidad efectiva de nutriente con Nitrógeno.**

Transformación de N en ppm a N en kg/ha.

$$5 \text{ ppm de N} \times 2 = 10 \text{ kg/ha de N.}$$

Necesidad efectiva de nutriente nitrogenado (NENN).

$$\text{NENN} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Eficiencia}} - \text{Disponibilidad}$$

$$\text{NENN} = \frac{175 \text{ kg/ha de N}}{0.6} - 10 \text{ kg/ha de N}$$

$$\text{NENN} = 281.67 \text{ kg/ha de N}$$

- **Cálculo de la Necesidad efectiva de nutriente con Fósforo.**

Transformación de P en ppm a P₂O₅ en kg/ha.

$$11 \text{ ppm de P} \times 2.29 = 25.19 \text{ ppm de P}_2\text{O}_5$$

$$25.19 \text{ ppm de P}_2\text{O}_5 \times 2 = 50.38 \text{ kg/ha de P}_2\text{O}_5.$$

Necesidad efectiva de nutriente fosfatado (NENP).

$$\text{NENF} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Eficiencia}} - \text{Disponibilidad}$$

$$\text{NENF} = \frac{80 \text{ kg/ha de } P_2O_5}{0.3} - 50.38 \text{ kg/ha de } P_2O_5$$

$$\text{NENF} = 216.29 \text{ kg/ha de } P_2O_5$$

- **Cálculo de la Necesidad efectiva de nutriente con Azufre.**

Transformación de S en ppm a S en kg/ha.

$$13 \text{ ppm de S} \times 2 = 26.00 \text{ kg/ha de S.}$$

Necesidad efectiva de nutriente con azufre (NENS).

$$\text{NENS} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Eficiencia}} - \text{Disponibilidad}$$

$$\text{NENS} = \frac{20 \text{ kg/ha de S}}{0.4} - 26 \text{ kg/ha de S}$$

$$\text{NENS} = 24 \text{ kg/ha de S}$$

- **Cálculo de la Necesidad efectiva de nutriente con Potasio.**

Transformación de K en meq/100 g de suelo a K₂O en kg/ha.

$$0.21 \text{ meq de K} \times 394 = 82.74 \text{ ppm de K}$$

$$82.74 \text{ ppm de K} \times 1.20 = 99.29 \text{ ppm de K}_2\text{O}$$

$$99.29 \text{ ppm de K}_2\text{O} \times 2 = 198.58 \text{ kg/ha de K}_2\text{O.}$$

Necesidad efectiva de nutriente potásico (NENK).

$$\text{NENK} = \frac{\text{Demanda}}{\text{Eficiencia}} - \text{Disponibilidad}$$

$$\text{NENK} = \frac{310 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}}{0.5} - 198.58 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

$$\text{NENK} = 421.42 \text{ kg/ha de K}_2\text{O}$$

- **Necesidad efectiva de nutrientes.**

En el cuadro 28 se presentan los resultados de la necesidad efectiva de nutrientes para el cultivo de la papa.

Cuadro 28. Necesidad efectiva de nutrientes para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por CALVACHE (6).

Necesidad efectiva de nutrientes	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Demanda	175.00	80.00	310.00	20.00
Disponibilidad	10.00	58.38	198.58	26.00
Nutriente	281.67	216.29	421.42	24.00

- Recomendación de fertilización química.

Utilizando los resultados de la necesidad efectiva de nutrientes del cuadro 28, se obtiene la recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa, como se observa en el cuadro 29.

Cuadro 29. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por CALVACHE (6).

Cultivo	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Papa	281.67	216.29	421.42	24.00

Para el cálculo de la recomendación de fertilizantes químicos simples o compuestos se seguirán los procedimientos anteriormente descritos.

c. Comparación entre modalidades de recomendación de fertilización.

En el cuadro 30 se presentan los resultados para la recomendación de fertilización en el cultivo de la papa utilizando la Tabla Guía, Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por diferentes autores en la cual se aprecian resultados diferentes para cada uno de los elementos, debido a razones conceptuales anteriormente descritas.

Cuadro 30. Comparación entre Recomendaciones de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Tabla Guía, Demanda y Disponibilidad.

Necesidad efectiva de nutrientes	Cantidad de nutrientes			
	kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Nutriente¹	191.67	372.50	100.00	38.33
Nutriente²	275.00	98.73	222.85	- 15.00
Nutriente³	281.67	216.29	421.42	24.00

1. Recomendación utilizando Tabla Guía.

2. Recomendación utilizando Demanda y Disponibilidad. BERTSCH (4) y CASTRO (7).

3. Recomendación utilizando Demanda y Disponibilidad. CALVACHE (6).

B. FERTILIZANTES QUÍMICOS, ABONOS ORGÁNICOS Y ENMIENDAS.

1. FERTILIZANTES QUÍMICOS.

La fertilización de los cultivos es una práctica muy necesaria para obtener los rendimientos máximos en las cosechas. Esto se debe, fundamentalmente, a que los suelos del país son, por lo general, deficientes en uno o más de los nutrientes esenciales para el crecimiento normal de las plantas (2).

Un fertilizante es un material inorgánico, sintético que suministre a las plantas elementos químicos necesarios para su normal crecimiento (2).

Los fertilizantes son los elementos nutritivos que se suministran a las plantas para complementar las necesidades nutricionales de su crecimiento y desarrollo (19).

En los fertilizantes deben distinguirse:

a. La unidad fertilizante.

La unidad fertilizante es la forma que se utiliza para designar al elemento nutritivo. Internacionalmente se establece la caracterización en el cuadro 31.

Así, 1 kg de la “unidad fertilizante” de nitrógeno corresponde a 1 kg de nitrógeno neto; 1 kg de la “unidad fertilizante” de potasio corresponde a 1 kg de óxido de potasio.

Algunos elementos están expresados en un compuesto complejo y otros en su elemento neto. Actualmente se está implantando una correlación que incluye solamente al elemento neto (19).

Cuadro 31. Caracterización de los fertilizantes químicos.

Elemento	Unidad fertilizante	Símbolo o fórmula
Nitrógeno	Nitrógeno	N
Fósforo	Anhídrido fosfórico	P ₂ O ₅
Potasio	Oxido de potasio	K ₂ O
Calcio	Calcio	Ca
Magnesio	Magnesio	Mg
Azufre	Azufre	S
Hierro	Hierro	Fe
Manganeso	Manganeso	Mn
Zinc	Zinc	Zn
Cobre	Cobre	Cu
Molibdeno	Molibdeno	Mo
Boro	Boro	B
Cloro	Cloro	Cl

b. La concentración.

La concentración de un fertilizante es la cantidad del elemento nutritivo en su respectiva unidad realmente asimilable por la planta. Se expresa en % del total del peso del fertilizante. Así, el sulfato de amonio, $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$, posee un 21 % de nitrógeno (N), es decir 21 kg de unidad fertilizante por cada 100 kg de fertilizante (los 79 kg restantes lo componen el azufre, hidrógeno y oxígeno); de la misma manera el cloruro de potasio (ClK) a 60 % de concentración contiene 60 kg de la unidad fertilizante (óxido de potasio, K_2O) (19).

Un superfosfato puede tener una concentración de 18% de P_2O_5 asimilable para la planta, siendo posible que contenga una cantidad mayor de fósforo, pero no se lo incluye en la concentración real del fertilizante porque ese elemento adicional se encuentra en una forma no utilizable a la planta (cuadro 32) (19).

A partir de la concentración de un fertilizante y conociendo la necesidad en kg del elemento, se determina la cantidad de aplicación del mismo, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de fertilizante} = \frac{\text{Cantidad del elemento}}{\text{Concentración del fertilizante}} \times 100$$

Por ejemplo si se necesita 100 kg de nitrógeno para un cultivo y se utiliza urea, que tiene una concentración de 46 %:

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de fertilizante} &= \frac{100 \text{ kg}}{46} \times 100 \\ &= 217 \text{ kg de Urea/ha} \end{aligned}$$

c. Tipos de fertilizantes.

Los fertilizantes pueden ser:

1). Sólidos.

Son generalmente los más utilizados; estos pueden estar en forma de polvo, en cristales o gránulos (19).

2). Líquidos.

Pueden ser simples, como las soluciones nitrogenadas, o compuestos, como las soluciones binarias o terciarias (19).

3). Gaseosos.

Solo se utilizan el amoníaco anhidro; en su almacenaje se mantiene en forma líquida muy fuertemente comprimido. Cuando se lo aplica en el suelo se gasifica (19).

Cuadro 32. Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos.

Nombre común	Fórmula	Contenido de nutrientes y concentración (%)										
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B	S	Cl
Urea	CO(NH ₂) ₂	46										
Sulfato de amonio	SO ₄ (NH ₄) ₂	21									24	
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	33										
Amoníaco Anhidro	NH ₃	82										
Urea cubierta de Azufre	S + NH ₂ CONH ₂	30										
Nitrato de Calcio	Ca (NO ₃) ₂ .4H ₂ O	16			34							
Nitrato de Sodio	NaNO ₃	16										
Superfosfato simple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + SO ₄ Ca		21		20						10	
Superfosfato triple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + H ₂ O		46		14							
Fosfato diamónico DAP	HPO ₄ (NH ₄) ₂	18	46									
Fosfato monoamónico MAP	NH ₄ H ₂ PO ₄	10	50									
Calfos	Silicio fosfatos de calcio		10		34	0.6		1				
Fosforita Huila	Apatitas		22		29	0.3	0.014		0.014		0.5	
Fosfacid-S			18		17						5	
Roca fosfórica	Ca ₁₀ (PO ₄) _(6-x) (CO ₃) _x F _(2+x)		29		34				0.03		1.35	
Acido fosfórico	H ₃ PO ₄		55									
Cloruro de potasio	KCl			60								47
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄			50							18	
Nitrato de potasio	KNO ₃	13		46								
Pentaborato de potasio	K ₂ B ₁₀ O ₁₆ .8H ₂ O			13						18		
Sulpomag	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄			22		11					22	
Fertisamag				19		11					15	
10 - 30 - 10		10	30	10								
15 - 15 - 15 - 6 - 5		15	15	15		6					5	
8 - 20 - 20 - 6 - 5		8	20	20		6					5	
13 - 26 - 6		13	26	6								

Cuadro 32. Contenido de nutrientes y concentración de los fertilizantes químicos.

Nombre común	Fórmula	Contenido de nutrientes y concentración (%)											
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Cu	Mn	Zn	B	S	Fe	
Azufre elemental	S											99	
Sulfato de magnesio	MgSO ₄					20						9	
Oxido de magnesio	MgO					55							
Nitrato de magnesio	Mg(NO ₃) ₂					6.6							
Carbonato manganoso	(MnII), MnCO ₃							46					
Quelato manganoso	(MnII), (EDTA)							12					
Oxido manganoso	(MnII), MnO							33					
Sulfato de zinc	Zn SO ₄ .7H ₂ O								22			18	
Oxido de zinc	Zn O								80				
Quelato de zinc	Na ₂ Zn-EDTA								14				
Oxido de hierro	Fe ₂ O ₃												60
Sulfato férrico	(Fe(III)), Fe ₂ (SO ₄) ₃ .4H ₂ O												23
Sulfato ferroso	(Fe(II))												30
Quelatos de hierro	(EDDHA, EDTA, DPTA, HEDTA)												13
Borax	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O									14.9			
Solubor	Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O + Na ₂ B ₁₀ O ₆ .10H ₂ O									20			
Acido bórico	H ₃ BO ₃									17.5			
Cloruro de cobre	(Cu(II)), CuCl ₂ (puro)							47					
Oxido cúprico	(Cu(II))CuO							75					
Quelato cúprico	Na ₂ Cu-EDTA							14					
Sulfato de cobre	(Cu(II))							35					
Cianamida de calcio	CaCN ₂												37
Silicato de calcio	CaSiO ₃												35
Cloruro de calcio	CaCl ₂												33
Metafosfato de calcio	Ca(PO ₃) ₂												20
Oxido de calcio	CaO												46

d. Clasificación de los fertilizantes.

Teniendo en cuenta los elementos nutritivos principales que son el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), los fertilizantes pueden clasificarse de la siguiente manera:

1). Abonos simples.

Los abonos simples solo contienen un elemento nutritivo. Ellos pueden ser:

- Abono simple nitrogenado.
- Abono simple fosfórico o fosfatado.
- Abono simple potásico.

2). Abonos compuestos.

Los abonos compuestos son los que contienen más de uno de los elementos nutritivos citados (19).

a). Mezclas.

Se llaman de mezcla cuando han sido obtenidos por una mezcla mecánica o manual (los elementos nutritivos están juntos pero en partículas distintas).

b). Complejos.

Se llaman complejos cuando los distintos elementos pertenecen a una misma fórmula química (los elementos nutritivos están juntos en una misma partícula). Que a su vez se clasifican en binarios y terciarios.

- Binarios.

Estos fertilizantes compuestos son binarios si poseen sólo dos elementos: N, y P, N y K, P y K.

- Terciarios.

Los terciarios poseen los tres elementos: N, P, K. Se expresan las concentraciones con las mismas unidades fertilizantes señaladas. Así, una que tenga un N-P-K de 10-30-10 significa que posee:

- 10 kg de nitrógeno neto (N).
- 30 kg de anhídrido fosfórico (P_2O_5).
- 10 kg de dióxido de potasio (K_2O).

e. Propiedades de los fertilizantes.

Entre las características físicas y químicas más importantes de los fertilizantes, que deben tenerse en cuenta por quienes los utilizan, a fin de evitar trastornos y perjuicios al suelo y a los cultivos, están las de su efecto activo. Los fertilizantes aumentan la concentración de sales en la solución del suelo (2).

1) Propiedades Físicas.

Las propiedades físicas de un fertilizante son de considerable importancia, tanto desde el punto de vista de su efectividad agronómica como en lo relativo a sus satisfactorias condiciones de aplicación, transporte y almacenamiento. Una buena cantidad de problemas que se expresan con los fertilizantes, tales como la compactación, segregación y excesiva higroscopicidad son resultado de inadecuadas propiedades físicas. Generalmente, las técnicas de manufactura proveen diferentes tratamientos para generar condiciones físicas favorables (11).

a). Granulometría.

Los gránulos son partículas redondeadas más o menos uniformes de tamaño variable de 1 a 5 mm (19).

Generalmente, la composición por tamaño de un fertilizante granulado es:

- 10% entre 1 - 2 mm.
- 40% entre 2 - 3 mm.
- 40% entre 3 - 4 mm.
- 10% entre 4 - 5 mm.

Cuando más uniforme es la granulación, mejor será la distribución en el suelo.

La importancia del tamaño de la partícula en los fertilizantes de alta solubilidad radica en el hecho de que la tasa de disolución está relacionada inversamente con el tamaño del gránulo, lo cual es clave cuando se trata de fabricar fertilizantes de lenta liberación (11).

b). Consistencia del gránulo.

Las partículas del fertilizante deben tener suficiente estabilidad mecánica, con el objeto de mantener un comportamiento normal durante las labores de manipuleo, sin que los gránulos se rompan y formen polvo (11).

A efecto de lo anterior, se conocen tres distintos tipos de consistencia mecánica, reconocidos como deseables, a saber:

- Resistencia al rompimiento.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia al impacto.

c). Densidad aparente.

La densidad aparente se define como el peso del producto por unidad de volumen a granel (11).

La consideración de esta característica es importante para calcular el tamaño de los empaques, determinar la capacidad de almacenamiento en bodegas o en vehículos de transporte, así como para la calibración de dosificadores volumétricos de abono (11).

d). Humedad relativa crítica.

La humedad relativa crítica de un fertilizante se define como la humedad de la atmósfera por encima de la cual el material absorbe espontáneamente humedad. Todas las sales solubles, incluidas los fertilizantes tienen humedades críticas características (11).

Los fertilizantes nitrogenados tienen normalmente muchas más tendencias a absorber la humedad del aire que los abonos fosfatados y potásicos. Esto se observa en el cuadro 33, donde figuran los valores límites de la humedad del aire a partir de los cuales determinados compuestos absorben el vapor de agua de la atmósfera. Se debe anotar que cuando se hacen mezclas, en general la higroscopicidad de éstos es superior a la del componente más higroscópico (2).

Como se ve en el cuadro 33, a medida que aumenta la temperatura la humedad relativa crítica es menor, siendo la urea y el nitrato de amonio los más higroscópicos (2).

Cuadro. 33. Límites de la humedad relativa crítica, a partir los cuales determinados fertilizantes absorben el vapor de agua de la atmósfera.

Compuestos puros	Humedad relativa del aire a diferentes temperaturas (°C)		
	20	30	40
Nitrato de amonio	66.9	59.4	52.5
Urea	80.0	72.5	68.0
Sulfato de amonio	81.0	79.2	78.2
Cloruro de potasio	85.7	84.0	81.2
Fosfato monocálcico	94.1	94.7	94.5

Para reducir la elevada humedad relativa crítica de los fertilizantes, la industria los recubre con acondicionamientos que generalmente son mezclas de silicatos y sílice impura, estas mezclas se están reemplazando por caolín que es superior por sus propiedades de adherencia y absorción de la humedad (2).

Para un material fertilizante, es altamente deseable que tenga una elevada humedad relativa crítica, ya que ello permitirá que tal material pueda ser expuesto y manejado bajo altos niveles de humedad atmosférica, sin que el fertilizante se humedezca y pierda fluidez y sin que el fertilizante químico gane humedad y más tarde se compacte (11).

La humedad relativa crítica de un fertilizante determina en gran proporción el tipo de empaque (grado de protección a la humedad) requerido en cada caso y es también determinante del nivel de manejo y almacenamiento a granel a que puede someterse un fertilizante dado. Esta consideración es de particular importancia cuando su manejo se efectúa bajo condiciones de clima con alta humedad relativa (11).

2) Propiedades Químicas.

Entre las principales propiedades químicas básicas están la solubilidad, el índice de salinidad, la acidez o basicidad residual y el pH de la solución concentrada (11).

a). Solubilidad.

Esta es una propiedad fundamental en los fertilizantes químicos, ya que, es en ella donde reside la mayor o menor disponibilidad de los nutrientes. En general se entiende que un abono soluble está en capacidad de liberar nutrientes del estado sólido, no aprovechable para la planta, al estado iónico requerido para su absorción. Por, consiguiente, en principio habría que aceptar que la disponibilidad potencial de los nutrientes en un fertilizante está en relación directa con el nivel de solubilidad del portador (11).

Como ya se advirtió, la solubilidad en agua constituye un parámetro universalmente aceptado como criterio de aprovechabilidad. Los fertilizantes que exhiben un nivel significativo de solubilidad en agua se denominan hidrosolubles. Sin embargo, este no es el único criterio válido, también se reconoce la solubilidad en citrato de amonio neutro o en ácido cítrico como índice de disponibilidad de fósforo en los abonos fosfóricos. Los fertilizantes con baja o nula solubilidad en agua, pero con alta solubilidad en citrato o ácido cítrico se denominan citrosolubles, siendo el ejemplo más conocido el caso de las escorias thomas y el del fosfato bicálcico (11).

La solubilidad inherente al portador nutricional del fertilizante, constituye tan sólo uno de los factores que inciden en la intensidad con que ocurre el fenómeno de disolución del fertilizante en el suelo. Otros factores involucrados son los siguientes:

- Disponibilidad del agua en el suelo.
- Características del suelo.
- Temperatura.
- Tamaño y tipo de partícula.
- Tecnología de aplicación del fertilizante.

Si bien es cierto que una alta solubilidad implica mayor disponibilidad para la planta, no lo es menos que un nutriente soluble puede estar sujeto a un mayor nivel de pérdidas, dependiendo de factores edáficos, ambientales y bióticos. Estas pérdidas están ligadas a la ocurrencia de procesos o grupos de procesos de naturaleza físico-química, química y bioquímica, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Fijación.
- Lixiviación.
- Inmovilización.
- Volatilización.
- Denitrificación.
- Disponibilidad del agua en el suelo.
- Acomplejamiento.
- Escorrentía y erosión.

b). pH de la solución saturada.

El pH de la solución saturada es una de las características químicas importantes en los fertilizantes, por cuanto explica particularidades del comportamiento agronómico de algunos de ellos (11).

Como su nombre lo indica, este parámetro se refiere al valor de pH medido en el seno de una solución cuyo disolvente es agua destilada y cuyo soluto es el fertilizante en cuestión, siempre y cuando previamente se haya conseguido el estado de saturación. Su interés agronómico radica en el hecho de que el pH así obtenido se aproxima o constituye un índice del pH que se desarrollará en las proximidades de los gránulos o de la banda fertilizante en el momento que se produce su disolución en el suelo, siendo su magnitud independiente de la acidez o basicidad residual generada con posterioridad al momento en que el abono completa su reacción. En el cuadro 34 se registran los valores de pH en solución saturada típicos de los principales fertilizantes (11).

Cuadro 34. Equivalentes de acidez o basicidad residual, índices de salinidad y pH de la solución saturada de los fertilizantes*.

Fertilizante Comercial	Eq. Acidez (-) o basicidad (+) residual kg CaCO₃/100 kg fertilizante	Índice de salinidad Na NO₃⁻100	pH de la solución saturada
Urea	- 84	75.4	9.0
Nitrato de amonio	- 63	104.7	
Sulfato de amonio	- 112	69.0	4.0
Fosfato monoamónico	- 65	29.9	3.5
Fosfato diamónico	- 64	34.2	8.0
Superfosfato triple	0	10.1	1.0
Roca fosfórica	+ 56		6.5
Cloruro de potasio	0	116.3	
Sulfato de potasio	0	46.1	
Sulpomag	0	43.2	
Nitrato de potasio	0	40.2	7.5
Sulfato de calcio	0	8.1	
Cales calcíticas	+ 80 a + 95	4.7	
Cales dolomíticas	+ 90 a + 100	0.8	
Azufre elemental	- 312		

* IFDC (1979).

c). Acidez o basicidad residual.

El uso de fertilizantes en la agricultura tiende con frecuencia a cambiar el pH del suelo. La acidez o basicidad fisiológica de un fertilizante es una medida del grado en que la reacción del suelo cambia cuando el material se aplica a un cultivo. Esta propiedad también suele denominarse acidez o basicidad potencial, residual o equivalente (11).

La acidez de un fertilizante dado se expresa comúnmente en términos del peso del carbonato de calcio requerido para neutralizar la acidez causada por la aplicación de 100 kg del fertilizante en cuestión. A esta cifra se denomina índice de acidez residual y se le antepone el signo menos (-) (11).

Así mismo, la basicidad residual se expresa en términos de peso de carbonato de calcio requerido para generar un nivel de alcalinidad igual al dejado por la aplicación de 100 kg de fertilizante. Esta cifra constituye el índice de basicidad y se le antepone el signo positivo (+). Si el residuo generado por el fertilizante no es ni ácido ni alcalino, se dice que la residualidad del producto es neutra (0) (cuadro 34) (11).

La acidez, alcalinidad o neutralidad residual de un fertilizante no debe confundirse con el pH de su reacción (pH de la solución saturada). Así por ejemplo, la urea hidroliza en el suelo para dar amonio y esa reacción química eleva el pH en las proximidades del gránulo hasta un valor de 9 o más. Sin embargo, el amonio generado es oxidado posteriormente a nitrato y esta reacción deja residuos ácidos en el suelo. Por ello, todos los fertilizantes nitrogenados que se utilizan actualmente en la agricultura son, en mayor o menor grado, agentes acidificantes de los suelos (11).

El efecto de una sola aplicación anual de fertilizantes sobre el pH del suelo, a dosis normales, es relativamente débil y, en algunos casos, dependiendo del poder de amortiguación del suelo, su significado agronómico es despreciable. Sin embargo, el efecto acumulativo de aplicaciones sucesivas durante muchos años, puede acidificar el suelo hasta el punto de afectar su productividad, a menos que se tomen las medidas correctivas del caso. Por otro lado, hay que recordar que el uso de fertilizantes formadores de ácido en suelos alcalinos puede derivar en efectos benéficos (11).

d). Índice de salinidad.

Es bien conocido el hecho de que altas concentraciones de sales solubles en la solución del suelo puede causar daño a las plantas o impedir la normal germinación de las semillas y/o emergencia de las plántulas. El efecto adverso de la salinidad se cree que está relacionado, en parte, con el aumento de la succión de la humedad del suelo.

La relación de este fenómeno con los fertilizantes radica en el hecho de que estos materiales son efectivamente sales, aunque algunos lo son más que otros.

En condiciones normales, un fertilizante distribuido uniformemente, a la dosis normal de aplicación, no produce concentraciones salinas suficientemente altas como para causar daño a las plantas. Sin embargo, las aplicaciones localizadas en contacto con la semilla o en bandas muy cerca de la semilla o de las plántulas en crecimiento, puede causar daño, dependiendo de la localización, tipo de fertilizante, dosis de aplicación, especie cultivada, etc (11).

El índice de salinidad de un fertilizante es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del producto incrementa la presión osmótica de la solución del suelo. El cuadro 34 recopila los índices de salinidad estimados para las fuentes fertilizantes más importantes. Esta, sin embargo, es una cifra relativa, ya que se interpreta como el incremento en la presión osmótica de la solución del suelo, en comparación con el incremento obtenido con la aplicación de un peso igual de nitrato de sodio (11).

Debe quedar claro, por lo tanto, que los índices de salinidad son válidos únicamente para comparar un fertilizante con otro; la cantidad de fertilizantes que puede ser aplicado sin peligro de daño al cultivo depende, además del índice de salinidad, de varios otros factores, tales como la especie cultivada, la época de aplicación, sistema de aplicación, tipo de suelo, contenido de humedad, etc (11).

e). Compatibilidad química en mezclas.

Cuando se mezcla fuentes fertilizantes simples, el primer aspecto que debe considerarse es que los ingredientes de la mezcla sean químicamente compatibles. Afortunadamente, para el caso de los fertilizantes simples, solamente existen unas pocas combinaciones que pueden tener problemas de compatibilidad (11).

La incompatibilidad química de los materiales fertilizantes puede generarse por las siguientes causas:

- Desarrollo de calor en la mezcla.
- Desarrollo de humedad.
- Producción de gas.
- Compactación.
- Aumento de higroscopicidad en la mezcla.

La compatibilidad química de algunos materiales fertilizantes comúnmente utilizados se muestra en el anexo 12 (11).

No todos los fertilizantes simples se pueden mezclar, al respecto de la cual se deben observar las siguientes reglas generales:

- Debe evitarse mezclar fertilizantes amoniacales con fertilizantes de reacción alcalina (cal, escorias básicas), ya que pueden ocurrir pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco.
- Ninguno de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua (superfosfatos), deben mezclarse con fertilizantes que tengan cal libre, porque ésta puede insolubilizar el fósforo.
- Fertilizantes muy higroscópicos como nitratos, urea y algunas sales potásicas, se compactan después de mezclados. Solamente se deben mezclar inmediatamente antes de usarlos (2).

Como se observa, la única combinación completamente incompatible es la del nitrato de amonio con la urea, debido a que la humedad relativa crítica de esta mezcla disminuye hasta un nivel sumamente bajo, como es el del 18%, lo cual hace imposible su manejo en estado sólido, aún en condiciones de mínima humedad atmosférica (11).

Las combinaciones de urea con superfosfatos se muestran en el anexo 12 como de compatibilidad limitada. No obstante, estas mezclas pueden tornarse completamente incompatibles, dependiendo del contenido de humedad del superfosfato. La causa de esta incompatibilidad se explica por la reacción química entre la urea y el fosfato monocálcico que libera agua de hidratación y provoca una pegajosidad severa en la mezcla. De otra parte, aunque no se registra en el anexo 12, la combinación de urea con materiales alcalinos, como es el caso de las cales y las escorias thomas, provoca el desprendimiento de amoníaco desde la urea, constituyéndose así en una mezcla incompatible (11).

Las mezclas de fosfato diamónico con superfosfatos son de compatibilidad limitada debido a que en un almacenamiento prologando del producto empacado se generan reacciones que conducen a compactación en la mezcla. Otro tanto puede ocurrir cuando se mezclan algunos tipos de fertilizantes compuestos con cloruro de potasio (11).

f. Características de los fertilizantes químicos.

1). Fertilizantes sólidos.

Los fertilizantes sólidos se presentan en forma de gránulos de 1 a 5 mm de diámetro, y como cristales o por grueso o fino. Tienen cualquier color, lo cual depende de los nutrimentos que contienen y de fabricación. También se les añade materiales acondicionadores que los ayudan a prevenir la formación de terrones, o pueden utilizarse pigmentos para distinguir diferentes clases de fertilizantes (2).

Las fertilizantes se obtienen por reacciones químicos y los compuestos también se obtienen por mezcla mecánica (2).

Las combinaciones químicas tienen como ventaja la homogeneidad física y química de las partículas, lo cual hace que cada gránulo contenga los elementos garantizados en las mismas proporciones (2).

Las mezclas mecánicas se obtienen a partir de fertilizantes simples y permiten preparar las formulaciones que el interesado desee, pero estas son de baja concentración; además, pueden presentar incompatibilidad entre los materiales mezclados y desuniformidad de las partículas (2).

2). Fertilizantes líquidos.

Los fertilizantes líquidos pueden clasificarse así:

a). Mezclas líquidas.

Las mezclas líquidas contienen sales de nutrimentos disueltos y sin material sólido. Algunas de estas mezclas son soluciones de nitrógeno puro; otras llevan nitrógeno y fósforo, en tanto que algunas otras consisten de una formulación completa de N, P, K.

Entre las principales mezclas líquidas tenemos:

- Aquamonía o Agua Amoniaca
- Soluciones de Nitrógeno con Amoniaco.
- Soluciones de Nitrógeno sin Amoniaco
- Soluciones de Fosfato de Amonio

b). Mezclas líquidas completas

Las soluciones de fosfato de amonio también sirven como material básico para la fabricación de líquidos que llevan nitrógeno; en ellas se utiliza nitrato de amonio o la urea y el potasio se añade en forma de sales de potasa. Estas mezclas son de análisis bajos no mayores de 30 grados de concentración del tipo 8-8-8, 5-10-10. Esto se debe a que cuando se agregan sales de potasio la solubilidad disminuye, reduciéndose la cantidad de nutrientes que se pueden conservar en la solución (2).

c). Suspensiones.

Evitan la salinificación y el análisis bajo, porque las materias componentes ya están salinificadas hasta cierto grado. En la mezcla se combina una elevada concentración de nutrientes y es poca la porción de estos materiales que permanecen como sales no disueltas. Con la adición de un material coloidal (partículas de una arcilla especial), se los mantiene en suspensión. Así se logra producir un producto que posea el elevado análisis de los fertilizantes secos y que, a la vez, mantenga la fluidez de las mezclas líquidas (2).

3). Fertilizantes foliares.

La nutrición vegetal por vía foliar depende de la absorción de los nutrientes y de las sensibilidades de los tejidos al contacto con los productos aplicados. Si el producto no es absorbido con relativa rapidez, se pierde por el lavado del agua lluvia, por el contacto prolongado o puede actuar como agente corrosivo (2).

“Para el caso del N aplicado en forma de urea o del Mg aplicado en forma de sulfato de magnesio, puede ser absorbido en un período de 2 a 5 horas. El potasio, el calcio y el manganeso se absorben un poco más lentamente. En cuanto al P, S, Fe y el Mo, para la absorción requieren entre 5 y 15 días. Algunos nutrientes como el calcio, el magnesio y el hierro tienden a acumularse en las hojas después de que son absorbidos. Otros como el P, el K, el N y el S se mueven con rapidez en la hoja y pueden localizarse en las extremidades de la raíz una hora después de que se han rociado sobre las hojas”, aunque su uso está ya bastante difundido, todavía no se tienen pruebas evidentes acerca de todas las bondades que se les atribuyen (2).

Los resultados de las investigaciones sobre su eficiencia son bastante variables, pero la mayor parte de los investigadores han llegado a las siguientes conclusiones:

- La eficiencia del abonamiento foliar está ligada a la habilidad y magnitud de absorción de nutrimentos por la parte aérea de las plantas.
- El efecto benéfico que se observa en algunas aplicaciones se debe, esencialmente, al nitrógeno que lleva el fertilizante y no al fósforo o al potasio.
- La adición de una cantidad razonable de nutrimentos requeriría muchas aplicaciones, lo cual haría costosa su utilización.
- Existe algún riesgo de fitotoxicidad.
- La fertilización foliar no puede reemplazar a la del suelo, sino suplementarla.
- La aplicación foliar resulta eficiente en el caso de adición de elementos menores.
- En general, la aplicación de abonos líquidos puede resultar poco costosa si se los utiliza mezclados con algunos plaguicidas.

g. Localización de los fertilizantes.

Antes de describir condiciones específicas de suelo y cultivos que necesitan nuevas e innovadoras técnicas de fertilización, se debe clarificar la terminología actual de los métodos de localización de fertilizantes. En el cuadro 35 se categorizan los varios procedimientos de acuerdo al sitio y método de localización. Con excepción de la aplicación foliar, los fertilizantes normalmente se aplican en la superficie o bajo la superficie del suelo, a varias profundidades, en la zona radicular. El método de localización o distribución física del fertilizante se basa normalmente en alguna forma de aplicación al voleo o en banda (anexo 13). Muchas de las nuevas técnicas de fertilización están relacionadas con la aplicación en banda o con aplicación aun más concentrada bajo la superficie del suelo (3).

Cuadro 35. Localización y método de aplicación de fertilizantes químicos.

Sitio de localización	Método de aplicación
Superficie del suelo	Voleo Banda Cobertera Riego
Bajo la superficie del suelo	Voleo e incorporación Voleo e incorporado a diferentes profundidades con otras operaciones de labranza Banda a lo largo del surco con la semilla Banda al costado de la semilla Banda profunda antes de la siembra conocida también como localización profunda, banda de presiembra o banda en la zona radicular Riego
Directamente sobre la planta	Aspersión foliar Fertigación con sistemas de riego por aspersión

A continuación se presentan las definiciones y explicación de los términos de localización de fertilizantes usados frecuentemente:

1). Aplicación al voleo.

Esta es una aplicación de fertilizante sólido o líquido a la superficie del suelo con o sin incorporación subsecuente con labranza. No implica ninguna localización específica con relación a la planta. Se puede aplicar antes o después de que el cultivo a sido sembrado. Las aplicaciones al voleo son particularmente adecuadas para la aplicación de dosis altas de P y K con el propósito de elevar la fertilidad del suelo con el incremento consecuente de los niveles de estos nutrientes en el suelo (3).

Este método de aplicación es también adecuado para las operaciones de alta velocidad conducidas con equipo grande en áreas agrícolas grandes. La aplicación al voleo tiene la ventaja adicional de proveer de una cobertura completa del suelo necesaria en la combinación fertilizante-herbicida (3).

En algunas condiciones la aplicación al voleo es menos eficiente que los métodos de aplicación bajo la superficie (3).

2). Aplicación en banda.

Este tipo de aplicación localiza el fertilizante sólido o líquido en bandas de diferente ancho en la superficie del suelo. Con esta aplicación se forman zonas de alta concentración de nutrientes que mejoran la eficiencia de uso de los fertilizantes (3).

3). Aplicación en banda a lo largo del surco.

Este método aplica el fertilizante sólido o líquido en una banda a lo largo del surco del cultivo en crecimiento (3).

4). Aplicación al voleo sobre el cultivo.

Esta es una aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos, generalmente en cereales de grano pequeño o pastos, después de que el cultivo se ha establecido. No existe incorporación del fertilizante y esta forma de aplicación también puede ser hecha como una banda superficial Este método de fertilización es frecuentemente utilizado para añadir N a los cereales de grano y pastos y para aplicar otros nutrientes como P, K y S a la alfalfa y otras leguminosas (3).

5). Fertigación.

Este sistema consiste en la aplicación de fertilizantes en el agua de riego sin importar el tipo de irrigación. Se usa más comúnmente para la aplicación de N, antes que para P y otros nutrientes (3).

En general se usan fuentes de nutrientes líquidos. La selección de la forma de P a utilizarse en fertigación es crucial para evitar reacciones que formen productos relativamente insolubles en el agua. El ácido ortofosfórico se utiliza con éxito en fertigación aun en presencia de altas concentraciones de sales de calcio en el agua. La aplicación de P a través sistema de irrigación por goteo resulta en concentraciones extremadamente altas de P alrededor de los goteros, con un mayor movimiento de P en el suelo de lo que normalmente se esperaría (3).

Se pueden presentar molestosas precipitaciones de calcita, cuando se añade amoníaco anhidro u otros fertilizantes que contengan amoníaco libre, a aguas de irrigación que contengan altas concentraciones de Ca, Mg y HCO_3 . Los problemas de taponamiento se pueden prevenir o corregir añadiendo ácido al agua (3).

Este método es usado frecuentemente en árboles frutales, hortalizas y otros cultivos de manejo intensivo. El tamaño de la gota, fuente de nutrientes y época de aplicación durante el día son factores que influyen la absorción de nutrientes y el quemado de las hojas (3).

6). Aplicación en banda bajo la superficie.

Esta es una aplicación de fertilizantes sólido o líquido, en una banda bajo la superficie del suelo, a lo largo de la hilera del cultivo, después de que las plantas han emergido (3).

7). Aplicación de pequeñas cantidades de fertilizante con la semilla.

Con este método se añaden pequeñas cantidades de fertilizantes sólidos o líquidos, en contacto directo con la semilla, para estimular el crecimiento inicial (3).

8). Aplicaciones de arranque.

Estas son aplicaciones de fertilizantes sólidos o líquidos al momento de la siembra en diferentes posiciones en contacto directo con la semilla, bajo la semilla, o al lado y debajo de la semilla. Este tipo de definición no implica ninguna localización del fertilizante en particular. Las dosis de aplicación son generalmente más altas que aquellas usadas con la aplicación de fertilizante junto con la semilla, pero si se aplican junto a la semilla se debe controlar la cantidad para evitar daños en la germinación y a la plántula (3).

9). Aplicación en banda profunda.

Es la aplicación profunda de fertilizantes sólidos o líquidos, generalmente a 5-10 cm bajo la semilla. En algunas áreas esta técnica de fertilización se lleva a cabo varios meses antes de la siembra del cultivo. A menudo se hace conjuntamente con las primeras labores de labranza (3).

El término aplicación “dual” significa el uso de amoníaco anhidro como la principal fuente de N acompañado de la aplicación de otros fertilizantes de P, K, S, etc., en la misma banda bajo la superficie. Las dosis de nutrientes aplicadas con las técnicas de banda profundas son normalmente mucho más altas que las dosis utilizadas con el método de aplicaciones de arranque (3).

10). Modificaciones experimentales de la banda profunda.

La aplicación profunda en pequeñas áreas concentradas (bolsas) y el uso de gránulos grandes en la inyección localizada son técnicas experimentales para concentrar fertilizantes, principalmente fuentes que contienen formas amoniacales de N, en zonas localizadas a la misma profundidad que las bandas bajo la superficie del suelo previamente descritas (3).

A menudo se usan fuentes sólidas de N como la urea y el sulfato de amonio, pero también se pueden utilizar gránulos grandes de urea (1 a 3 g cada uno) que se aplican en forma similar. Se pueden también usar fertilizantes en solución que se localizan en un área concentrada en la zona radicular por medio de sistemas de aplicación de alta presión. Los fertilizantes líquidos o el amoníaco anhidro se los puede confinar a pequeñas áreas en la zona radicular mediante inyección localizada (3).

11). Fertilización foliar.

Esta es la aplicación de pequeñas cantidades de nutrientes al follaje de las plantas en crecimiento. No es común con la excepción de árboles frutales y hortalizas. Se usa comúnmente para aplicar N y micronutrientes (3).

2. ABONOS ORGÁNICOS.

Un abono orgánico es un residuo animal o vegetal más o menos transformado, que posee un acierta riqueza en materia orgánica y que usualmente también contiene elementos esenciales para las plantas (21).

La utilización correcta de los abonos orgánicos está sujeta a muchas más consideraciones que la de los fertilizantes minerales, dada su complejidad constitutiva.

Se debe tener en cuenta que su materia orgánica podrá alterar el complejo de cambio y la estructura del suelo así como las propiedades físicas, químicas y biológicas.

La incorporación del ,abono al suelo tiene las siguientes ventajas: permite el aporte de nutrientes, incrementa la retención de humedad y mejora la actividad biológica, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo y por ende su productividad (21).

Ahora más que nunca se reconoce la importancia de un adecuado suministro de nutrientes a las plantas apara mantener un eficiente nivel de producción de las mismas; los abonos orgánicos son fuente de estos elementos nutrientes. Sin embargo, los grandes requerimientos de los mismos frente a la escasa producción de estos, hacen que se manejen de la manera más eficientemente posible (21).

Otro aspecto a considerar es que su composición es muy irregular. Y por lo tanto, desde la perspectiva de una política de abonado sería conveniente someter estos productos a un análisis de composición antes de usarlos

Los principales abonos orgánicos son:

a. Estiércoles.

Los estiércoles son los excrementos de los animales, que resultan como desechos del proceso de digestión de los alimentos que estos consumen. El estiércol de granja resulta de la mezcla de los excrementos sólidos y líquidos de los animales domésticos con los residuos vegetales que les sirvieron de cama (21).

El estiércol no es un abono de composición fija. Esta depende de la edad de los animales de que procede, de la especie, de la alimentación a que están sometidos, trabajo que realizan, aptitud, naturaleza, composición de las camas, etc., (cuadro 36).

Cuadro 36 . Composición química de estiércoles utilizados como abono.

Fuente	Tipo	Sustancias orgánicas	%		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bovino	líquida	5	1.0	0.1	1.6
Bovino	sólida	18	0.4	0.2	0.1
Bovino	mixta	10	0.6	0.2	0.1
Ovino	líquida	8	1.6	0.1	2.3
Ovino	sólida	30	0.6	0.4	0.3
Equino	líquida	7	1.2	0.1	1.6
Equino	sólida	23	0.5	0.3	0.3
Porcino	líquida	2	0.3	0.1	0.9
Porcino	sólida	16	0.6	0.4	0.3
Gallinaza	sólida	25	1.4	1.4	2.1

b. Residuos de cosechas.

La incorporación de los residuos de las cosechas (tallos, hojas, flores, vainas, tuzas, etc.), al suelo, contribuye a incrementar la materia orgánica del suelo, modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas (21).

Cuando la incorporación de los residuos de las cosechas se realiza de manera correcta se mejora la productividad del suelo, ya que favorece una gran cantidad de procesos biológicos, bioquímicos y sus múltiples efectos que permiten incrementar el rendimiento de los cultivos (21).

Cuando se incorporan al suelo los residuos de las cosechas es importante que se conozca su composición química y sobre todo su relación carbono/nitrógeno (C/N). De esta última depende el ritmo de degradación de los componentes orgánicos, así como los efectos positivos o negativos que pueden obtenerse al ser incorporados (21).

En el cuadro 37 se puede observar la cantidad de materia seca que pueden aportar algunos residuos de cosechas y su respectiva relación carbono/nitrógeno (C/N) (21).

Cuadro 37. Cantidad de residuos vegetales dejados por algunos cultivos y su relación C/N.

Planta	Materia seca kg/ha	Relación C/N
Tabaco (tallos)	14 - 25	13 : 1
Papa (tallos y hojas)	14 - 28	25 : 1
Alfalfa de tres años	8 - 28	16 : 1
Maíz (caña)	18 - 36	60 : 1
Maíz (raíces y hojas de la mazorca)	14 - 23	60 : 1
Trigo (paja)	14 - 28	50 : 1

c. Residuos de la agroindustria.

Los residuos o desechos de la agroindustria sean éstos de origen vegetal o animal son materiales fertilizantes de gran importancia en la práctica de la agricultura orgánica, pues debidamente procesados son capaces de mejorar la calidad física, química y biológica de los suelos de cultivo. Los residuos de la agroindustria más disponibles y su composición aproximada se los puede observar en el cuadro 38 (21).

Cuadro 38. Composición química de los residuos de la agroindustria.

Origen / Residuos	%					
	N	P₂O₅	K₂O	Ca	Mg	S
Animal						
Sangre seca	13	2	1	0.5	-	-
Cenizas de huesos	-	35	-	46.0	1	0.5
Harina de huesos	2	15	-	25.5	0.5	27.0
Desechos de pescado	6	6	-	8.5	0.5	4.5
Desechos de camarón	-	-	-	-	-	-
Harina de pescado	9.5	7	-	8.5	0.5	0.5
Residuos de camal	7	0	0.5	15.5	0.5	1.0
Vegetal						
Cenizas de madera	-	1.8	5.5	23.3	2.2	0.4
Cenizas de arroz	-	8.0	30.0	10.0	5.0	2.5
Cenizas de algodón	-	5.5	27.0	9.5	5.0	2.5
Cenizas de leña	-	2.0	5.0	32.5	3.5	-
Harina de higuera	6	1.6	1.6	1.0	0.5	-

Estos residuos se deben incorporar al suelo haciendo parte de enmiendas orgánicas de acuerdo a los requerimientos nutricionales de los suelos. Su incorporación debe hacerse dos meses antes de la siembra. Estos residuos también pueden hacer parte de los materiales requeridos para la elaboración de compost, vermicompost y abonos líquidos.

d. Abonos verdes.

Los abonos verdes se definen como cultivos de cobertura, cuya finalidad es devolverle a través de ellos sus nutrientes al suelo (21).

La implementación de abonos verdes se hace mediante la siembra de plantas, generalmente leguminosas solas o en asocio con cereales, las cuales son cortadas en la época de la floración e incorporadas al suelo para regular principalmente su contenido de nitrógeno y carbono, al mismo tiempo que se mejoran sus propiedades físicas y biológicas (cuadro 39).

La práctica de los abonos verdes se conoce desde hace aproximadamente 3 000 años y constituye una de las tecnologías que manejó la agricultura prehispánica en los territorios que hoy constituyen nuestro país (21).

Cuadro 39. Leguminosas cultivadas y sus correspondientes grupos de Rhizobium.

Leguminosas	Grupos de Rhizobium
Medicago, Melilotus, Trigonella	Rhizobium meliloti
Trifolium	Rhizobium trifolii
Vicia, Lathyrus, Lens, Pisum	Rhizobium leguminosarum
Phaseolus vulgaris	Rhizobium phaseoli
Lupinus, Ornithopus	Rhizobium lupuni
Glycine max	Rhizobium japonicum

e. Compost.

El compost es un abono orgánico que resulta de la descomposición de residuos de origen animal y vegetal. La descomposición de estos residuos ocurre bajo condiciones de humedad y temperatura controlada (21).

El compost es un proceso biológico y dinámico en el cual intervienen una población mixta de microorganismos propios de la descomposición, los cuales convierten un montón de materia orgánica heterogénea en compost, el cual tiene como base el humus que mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (21).

Las características químicas del compost dependen de la calidad y cantidad de los materiales utilizados, como de las condiciones ambientales que se dieron durante el proceso de descomposición y el manejo, dado a las composteras (21).

Al concluir el proceso de fermentación aerobia, el compost está prácticamente libre de patógenos, completamente diferente del material original, por lo cual puede ser fácilmente manipulado y almacenado, ya que en estas condiciones no tiene mal olor (21).

En el cuadro 40 se puede observar los valores promedios de nutrientes obtenidos en composteras.

Cuadro 40. Valores promedios de nutrientes del compost.

Fuente	C/N	pH	%			
			N	P	K	Ca
Compost	16/1	7.3	0.76	0.22	1.41	1.40

f. Abonos líquidos.

La calidad del abono depende líquido depende del tipo y sistema de explotación del ganado y de que se haya diluido o no con agua de lluvia o de lavar. En condiciones ideales de explotación, el abono líquido puede contener 0.6 % de nitrógeno y un 0.8% de potasio (21).

1). Orina.

La orina es un abono líquido rico en nitrógeno y potasio, prácticamente no contiene potasio (21).

La orina de los animales se puede colectar en los establos cuyo piso es encementado. Es necesario que la orina se guarde en un recipiente con tapa para evitar malos olores, moscas y que además se pierda su valor de nutrición (21).

2). Té de estiércol.

El té de estiércol es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido. En el proceso de hacerse té, el estiércol suelta sus nutrientes al agua y así se hacen disponibles para las plantas (21).

g. Humus de lombriz.

La lombricultura es la crianza intensiva de lombrices, capaces de transformar los desechos vegetales y animales en humus (21).

Uno de los aspectos característicos más sobresalientes del humus de lombriz es que contiene una gran cantidad de microorganismos (bacterias y hongos) y de enzimas que continúan desintegramos la materia orgánica, incluso después de haber sido expulsados junto a las deyecciones, del aparato digestivo de la lombriz (21).

La especie de lombriz que mejor se adapta para la producción de humus es la *Eisenia foetida* conocida como roja californiana (21).

El humus de lombriz o “vermicompost”, éste último término que va imponiéndose (21).

En particular el humus de lombriz tiene buenas cantidades de macroelementos, además es también rico en oligoelementos; auxinas y hormonas vegetales que actúan sobre el crecimiento de las plantas (21)

En el cuadro 41 se puede apreciar la composición química del humus de lombriz.

Cuadro 41. Composición química del humus de lombriz.

Fuente	C/N	p H	%			
			M. O.	N	P	K
Humus	9 - 12	7 - 7.5	60	2 - 3	1 - 3	1 - 1.5

3. ENMIENDAS.

a). Encalado.

El encalado constituye el manejo más convencional para contrarrestar el efecto de la acidez; representa una enmienda para ese sistema, y consiste en la aplicación “masiva” de sales básicas comúnmente Ca, y en forma preferencial, CaCO_3 (4).

La acción que se persigue con este producto es la neutralización de la acidez intercambiable, o sea del Al (principalmente) y del H intercambiable. El hecho que el ácido carbónico se descompone en dióxido de carbono que se volatiliza y agua, es lo que permite que ocurra la neutralización (4).

De otra manera, el ácido sigue presente y el pH no se modifica. Esta situación es la que ocurre cuando se utiliza CaSO_4 . Con este último producto se logra eliminar gran parte del Al intercambiable debido a que el Ca lo sustituye en la micela y el Al forma un complejo relativamente estable con el sulfato, sin embargo, puede quedar un remanente de H_2SO_4 , que impide que el pH se eleve, y por lo tanto el medio será muy favorable para volver a solubilizar al Al (4).

Cuando el pH alcanza niveles de 5.5, prácticamente se ha conseguido la neutralización total del Al porque para arriba de estos valores, el Al precipita como hidróxidos insolubles. Se considera que la forma hidrolítica AlOH_2^+ es la principal responsable de los efectos adversos del Al sobre el crecimiento radicular.

Su rango de pH de máxima solubilidad fluctúa entre 4 y 4.5.

Cuando se sospecha que el problema es toxicidad de Mn, el pH debe subirse a 6, para conseguir el mismo efecto neutralizante (4).

Se han realizado gran cantidad de esfuerzos para encontrar métodos de estimar las necesidades de cal en los suelos de los trópicos. El primer criterio que se usó, basándose en las ideas aplicadas a las zonas templadas, fue la elevación del pH hasta la neutralidad.

Se realizaban curvas de titulación en el suelo mediante adiciones crecientes de CaCO_3 hasta alcanzar la dosis que llevara el pH a valores de 6 ó 7. Este procedimiento resulta efectivo cuando la acidez se debe principalmente a H, como sucede en los sistemas de aluminosilicatos laminares, de carga permanente, comunes en zonas templadas (4).

En los suelos de los trópicos, como los sistemas que dominan son los de óxidos o los de aluminosilicatos recubiertos de óxidos, en donde la carga es variable, la acidez se debe al Al y se produce un alto poder buffer; este procedimiento no resulta eficiente y

conduce a la sobre dosificación de cal, con todos sus correspondientes problemas agronómicos y económicos (4).

El criterio que surgió en los trópicos para reemplazar el anterior y que en términos generales ofrecía mejores resultados, consistía en basar las recomendaciones de encalado en la cantidad de Al o acidez intercambiable presente en la capa arable.

Se consideró que más de 0.3-0.5 cmol(+)/L de Al representa problemas de acidez pues a esos niveles es posible que existan más de 2 mg/L de Al en la solución del suelo que serán tóxicos para las plantas (4).

Según este procedimiento, las dosis de cal se calculan multiplicando los cmol(+)/L de Al por un factor que puede fluctuar entre 1 y 3 para obtener los cmol(+)/L de Ca que deben ser agregados como cal.

Muchos autores sugieren usar 1.5 como factor, en suelos con contenidos normales de materia orgánica, sin embargo, un valor promedio, más sencillo de recordar y calcular, y que además garantizará una neutralización eficiente es 2 (4).

Para establecer la recomendación práctica, los cmol(+)/L de Ca deben transformarse a t CaCO₃/ha o de cualquier otra fuente; para CaCO₃, a 1 ha a 0.20 m de profundidad se da la siguiente equivalencia:

$$\frac{1 \text{ cmol (+)}}{\text{L de Ca}} = 1 \text{ t CaCO}_3/\text{ha}$$

Las dosis de cal calculadas por este método neutralizan del 85 al 90% del Al intercambiable en suelos con 2 a 7% de M. O. S. En suelos con más materia orgánica, el factor tiene que subirse a 2.5 ó 3 debido a la presencia de H intercambiable, y a que es probable que exista mucho más Al intercambiable que el que se determina que está acomplejado por la materia orgánica.

La razón de usar un factor de 2 en vez de usar la estequiometría química, es la necesidad de neutralizar los iones H que se van a ir liberando en el suelo encalado, de la materia orgánica y de los R₂O₃ presentes, conforme el pH aumenta por efecto de la adición de la base.

O sea, todos los materiales anfóteros, susceptibles de generar cargas negativas por ionización de OH en medio básico, liberarán H y expondrán nueva carga negativa a la cual podrán adherirse los recién desplazados Al, por lo que se requerirá Ca adicional para re-neutralizarlos, o ocupar esas nuevas posiciones. También, en este factor se incluyen las características de pureza propias del material encalante (4).

En resumen, por cada $\text{cmol}(+)/\text{L}$ de Al o acidez intercambiable presente, se debe aplicar $2 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de Ca que corresponden a 2 t/ha de CaCO_3 . Dicho de otra manera, 1 t/ha de CaCO_3 es igual a $1 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de Ca, que neutraliza $0.5 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de Al.

Esta técnica definitivamente es más útil que basarse en el pH, sin embargo, dos suelos pueden tener la misma cantidad de Al intercambiable y muy diferente magnitud del problema de acidez, y muy diferente respuesta al encalado, por la presencia de mayor o menor cantidad de bases (Ca + Mg + K), o de capacidad de intercambio de cationes (C. I. C. E. = Ca + Mg + K + acidez). Niveles menores de $5 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de cualquiera de estas medidas se consideran bajos (4).

El parámetro que resulta más útil para tomar una mejor decisión sobre el encalado que se va a realizar es el % de saturación de acidez o Al presente en el suelo, $(\text{Al} / \text{C. I. C. E.}) \times 100$. No es lo mismo un suelo con $2 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de Al y $20 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de C. I. C. E. (10% de saturación de Al) que un suelo con $2 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de Al y $4 \text{ cmol}(+)/\text{L}$ de C. I. C. E. (50% de saturación de Al).

Indudablemente, el problema de acidez y la necesidad de encalado de estos dos suelos serán muy diferentes, pese a tener la misma cantidad de Al, e incluso variará la dosis según lo que pueda tolerar la variedad o cultivo específico que se vaya a sembrar.

El carbonato de calcio es la fuente más utilizada y más apropiada para el encalado.

En el cuadro 42 se indica algunas fuentes de calcio y magnesio útiles para el encalado.

Cuadro 42. Fuentes de calcio y magnesio útiles para el encalado.

Material	%	
	Ca	Mg
Cenizas (madera)	23.3	2.2
Escoria básica (Ca/MgCO ₃)	29.0	4.0
Harina de huesos	23.0	0.4
Cal viva (CaO)	60 - 70	
Piedra caliza	32.0	3.0
Quelatos (Ca/Mg EDTA)	3 - 5	2 - 4
Cal Dolomítica [Ca, Mg (CO ₃) ₂]	22.0	11.0
Sal de Epson (MgSO ₄ .7H ₂ O)		10
Yeso (CaSO ₄ .2H ₂ O)	20 - 28	
Cal Hidratada [Ca (OH) ₂]	45 - 55	
Kieserita (MgSO ₄ .H ₂ O)		18
Oxido de magnesio (MgO)		55
Marga	35	0.5
Complejos Orgánicos Naturales	4 - 12	4 - 9
Sulfato de potasio y magnesio (K ₂ SO ₄ .MgSO ₄)		11

III. PROCEDIMIENTOS.

A. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS.

El análisis de los suelos comprende varias etapas a saber:

1. MUESTREO.

En la cual consiste en realizar la toma de una muestra representativa del lugar a ser muestreado. Posteriormente debe ser etiquetado correctamente y enviado lo más pronto posible al laboratorio para su análisis.

2. RECEPCIÓN.

La muestra de suelo tomada en el campo es ingresada al laboratorio, en la cual se registran todos los datos pertinentes a sus características y ubicación.

3. PREPARACIÓN.

La muestra ingresada pasa a ser preparada para su posterior análisis, en la cual es secada en el invernadero, molida y tamizada.

4. DETERMINACIÓN.

En la muestra preparada se realizan las determinaciones físicas y químicas:

a). Determinación física.

Consiste en la determinación de la textura.

b). Determinaciones químicas.

La cual consiste en analizar los siguientes parámetros: materia orgánica (M. O. S.), capacidad de intercambio catiónica efectiva (C. I. C. E.), N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn y Fe, y según el p H (Al + H, CE y Na).

6. RESULTADO.

Luego de realizarse la determinación se registran los resultados, estos datos pasan luego a un programa de computación denominado “fertigrama” en el cual se registran los resultados obtenidos (anexo 14).

7. INTERPRETACIÓN.

La interpretación de los resultados se las realiza en base a las tablas guías de los niveles críticos, elaboradas por el INIAP (anexo 15).

8. RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA.

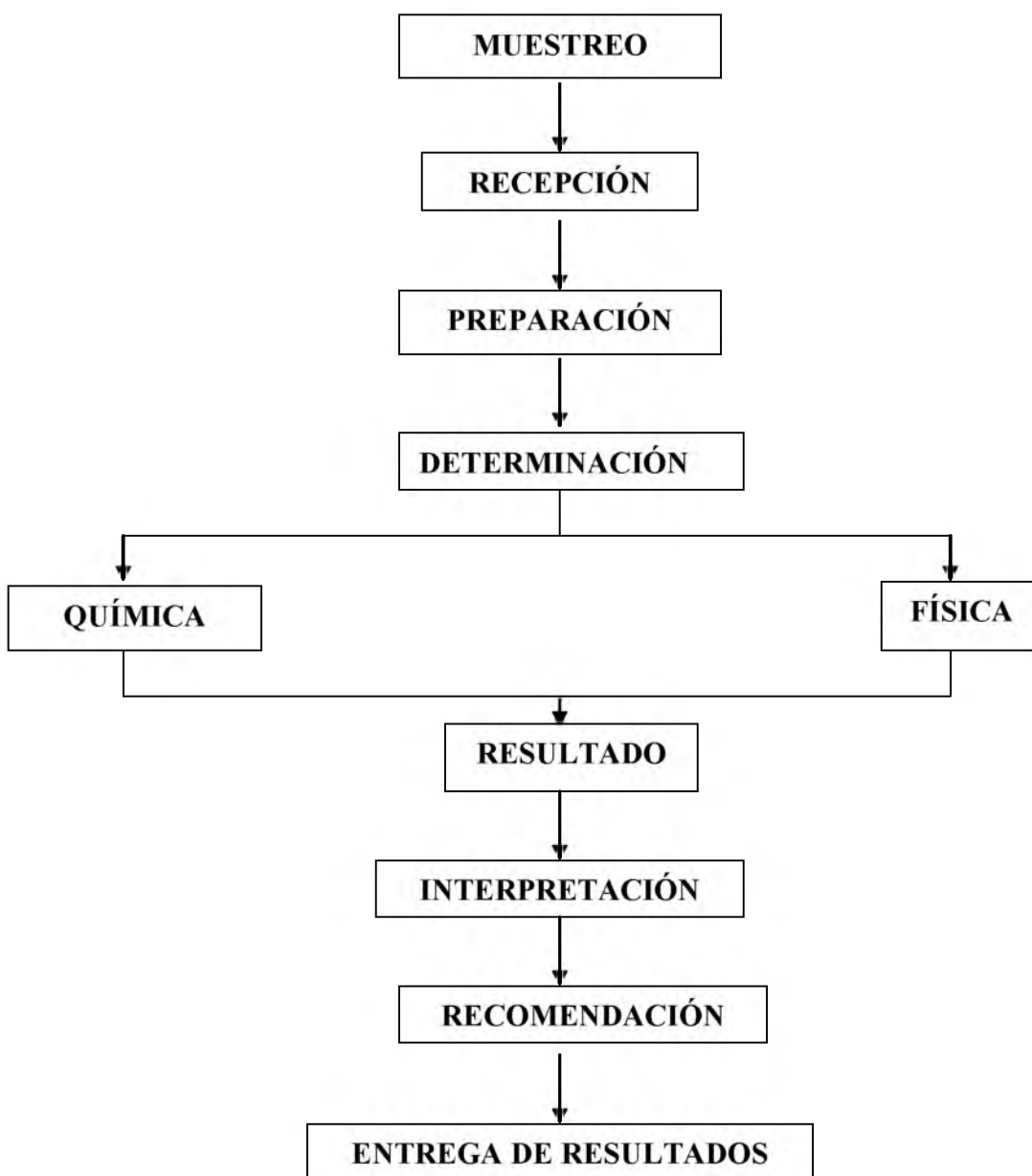
La recomendación de fertilización química se la realiza en base a tablas guías de fertilización de diversos cultivos, elaboradas por el INIAP (anexo 16).

9. ENTREGA DE RESULTADOS.

Analizados y revisados los datos del análisis de suelos se procede a la entrega de los resultados al usuario, sea este un técnico, agricultor o ganadero.

B. FLUJOGRAMA.

Las etapas anteriormente descritas se las puede observar en el siguiente flujograma.



IV. RESULTADOS.

A. RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ENMIENDAS EN LA HOJA DE CALCULO EXCEL.

Para realizar la recomendación de fertilización química en el cultivo de la papa utilizando la hoja de cálculo EXCEL para:

- **Recomendación utilizando la Tabla Guía.**
- **Recomendación utilizando la Demanda y Disponibilidad BERTSCH (4) y CASTRO (7).**
- **Recomendación utilizando la Demanda y Disponibilidad CALVACHE (6).**

Se tiene la siguiente información:

- **Ingreso de datos.**

Propietario.
Número de la muestra.
Lote.
Elementos de análisis de suelos (N, P, S, K, Al, M. O. S.)

- **Salida de datos.**

Recomendación de fertilizantes simples.
Recomendación de fertilizantes compuestos.
Recomendación de encalado.
Recomendación de aplicación de M. O. S.

Estos resultados se pueden apreciar en los anexos 17, 18 y 19.

V. CONCLUSIONES.

1. Una secuencia lógica para realizar una adecuada interpretación y recomendación de un análisis de suelos es la siguiente:
 - Identificación de problemas de acidez. Causas. Observación del pH, la acidez, el Al, las bases. Cálculo del % de saturación de acidez. Consideración de la tolerancia del cultivo a la acidez.
 - Decisión de encalado. Cálculo de dosis. Definición de época, método y fuente. Consideración de efectos primarios y secundarios del encalado.
 - Cálculo de las relaciones entre las bases Ca-Mg-K. Estimación de posibles desequilibrios y efectos del encalado sobre ellas.
 - Identificación de todos los otros nutrimentos deficientes. Establecimiento de causas.
 - Estimación del comportamiento del N y el S, con base en materia orgánica, condiciones climáticas, otras características del suelo, posibilidades de que ocurra mineralización, etc.
 - Elaboración de una síntesis o conclusión, en la que se ordenen jerárquicamente, según su importancia de atenderlos, los problemas diagnosticados en ese suelo.

2. La calibración y correlación del análisis químico de suelos del INIAP debe ser corregida, debido a que estos estudios se los ha investigado para los cultivos de papa y maíz faltando para los demás de cultivos.

VI. BIBLIOGRAFIA.

1. ALVARADO, S.; CÓRDOVA, J.; LÓPEZ, M. 2000. Metodologías de análisis físico químico de suelo, aguas y foliares. Quito. (Ec.), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. p. 5-58.
2. AMEZQUITA, E. 1992. Fertilización en diversos cultivos; manual de asistencia técnica. Tibaitatá (Col.), Instituto Colombiano Agropecuario. p. 3-27.
3. BEATON, J. 1992. Curso sobre fertilización balanceada. Valencia (Ven.), PALMAVEN-INPOFOS. p. 14-16.
4. BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José (C. R.), Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 1, 111-153.
5. ----- 1998. La fertilidad de suelos, manual de laboratorio. San José (C. R.), Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 21-49.
6. CALVACHE, M. 2000. Absorción de nutrimentos y sus uso en los programas de fertirrigación. Quito (Ec.), Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas. Instituto de Postgrado. p. 6-7.
7. CASTRO, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Tunja (Col.), Instituto Universitario Juan Castellanos. p. 163-355.
8. CORDERO, A. 1993. Evaluación y mejoramiento de la fertilidad y de las necesidades de nutrimentos por los cultivos. In Correlación y Calibración de Análisis de Suelos. (1993, Nic.) 1993. Memorias. Managua (Nic.), Instituto de la Potasa y el Fósforo. p. 22-26.
9. FOTH, D. H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. México D. F. (Méx.), Editorial Continental, p. 202-203.
10. GILABERT, J.; LÓPEZ, I.; PÉREZ, R. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Maracay (Ven.), Centro Nacional de Investigación Agropecuaria. p. 1.1-12.6.
11. GUERRERO, R. 2001. Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. 2 ed. Bogotá. (Col.), Ed por Francisco Silva Mojica. p. 221-244.

12. INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. 1993. Diagnóstico del estado nutricional de los cultivos. Quito (Ec.), INPOFOS. P. 35-49.
13. ----- . 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Quito (Ec.), INPOFOS. p. 8-1, 8-3.
14. JIMÉNEZ, O. 1993. Fertilidad de Suelos. Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. Guatemala (Gua.), p. 125-163.
15. LUZURIAGA, C. 1994. Criterios sobre la problemática de los análisis de suelos en el país. In Unificación metodológica de laboratorio para análisis. (1994, Ec.). Memorias. Quito (Ec.), Instituto de la Potasa y el Fósforo. p. 1-3.
16. MICHEL, R.; CHIRINOS, H.; LAGOS-BARBA, A. 1998. Manual agronómico de suelos y plantas. Guadalajara (Méx.), Laboratorios AL de México. p. 3-132.
17. NARRO, E. 1994. Física de suelos con enfoque agrícola. México D. F. (Méx.), Editorial Trillas. p. 50-51.
18. PADILLA, W. 1979. Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador. Quito (Ec.), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. p. 29-32.
19. RIDRÍGUEZ, F. 1982. Fertilizantes; nutrición vegetal. México D.F. (Méx.), AGT Editor. p. 47-52.
20. SALAMANCA, R. 1995. Suelos y fertilizantes. Bogotá (Col.), Universidad Santo Tomás. p. 214-274.
21. SUQUILANDA, M. 1996. Agricultura orgánica. Quito (Ec), Fundación para el desarrollo agropecuario. p. 172-239.
22. VALVERDE, F. 2001. Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador. Quito (Ec.), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. p. 2-3.
23. ZAPATA, R. 1997. Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. Medellín (Col.), Universidad Nacional de Colombia. p. 2-5.

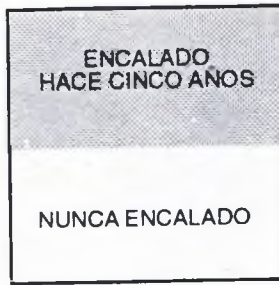
VII. ANEXOS.



Anexo 1. Herramientas requeridas para el muestreo de suelos.



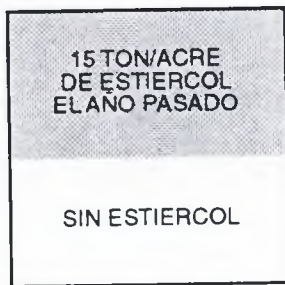
3 MUESTRAS COMPUESTAS



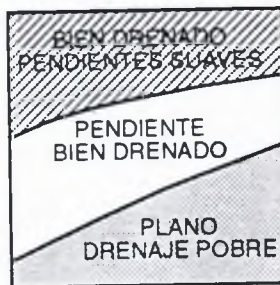
2 MUESTRAS COMPUESTAS



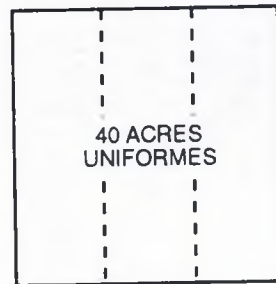
2 MUESTRAS COMPUESTAS



2 MUESTRAS COMPUESTAS

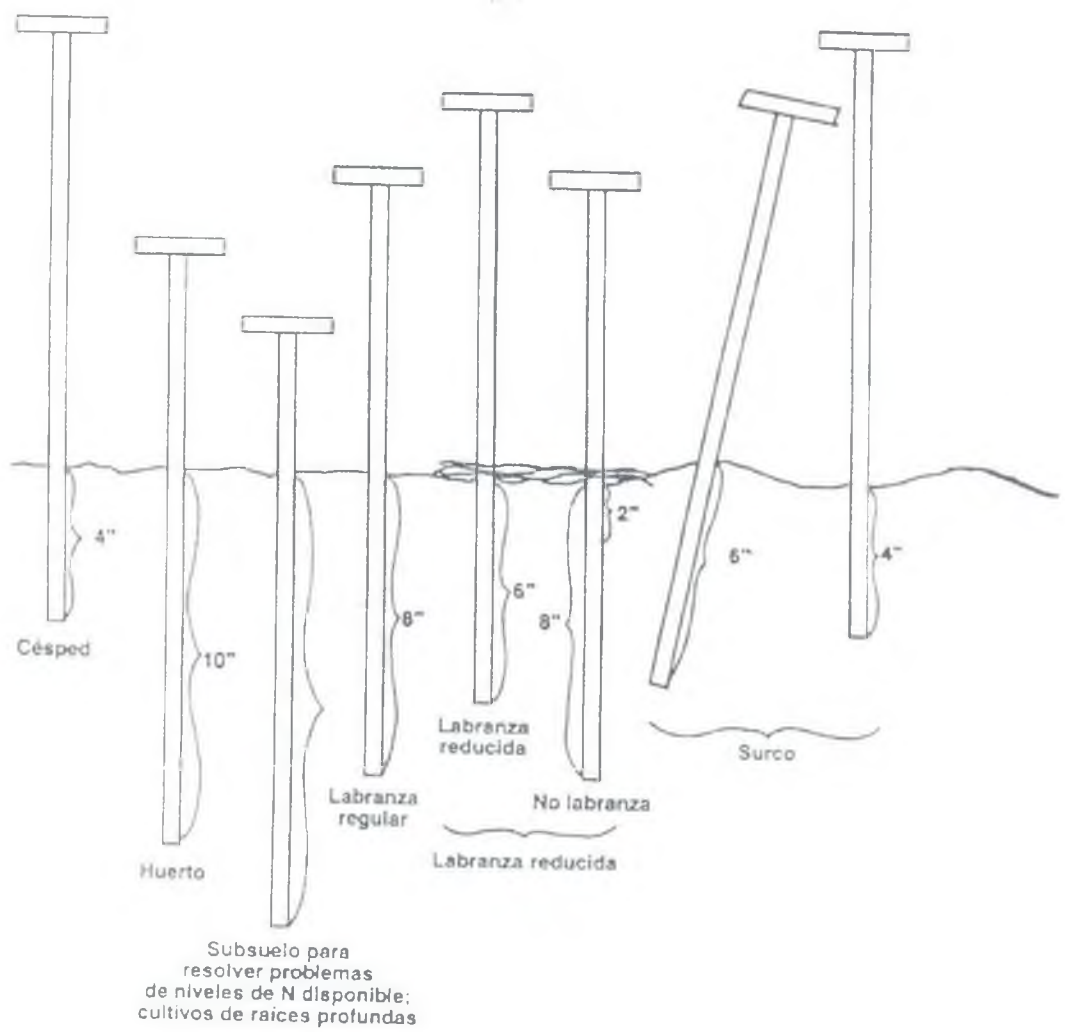


3 MUESTRAS COMPUESTAS

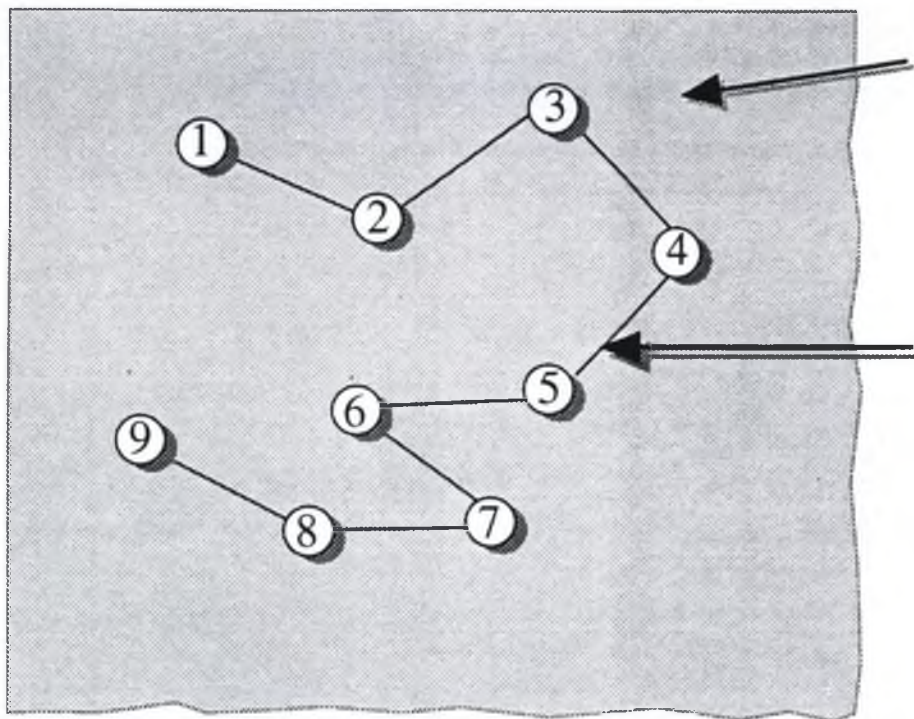


3 MUESTRAS COMPUESTAS

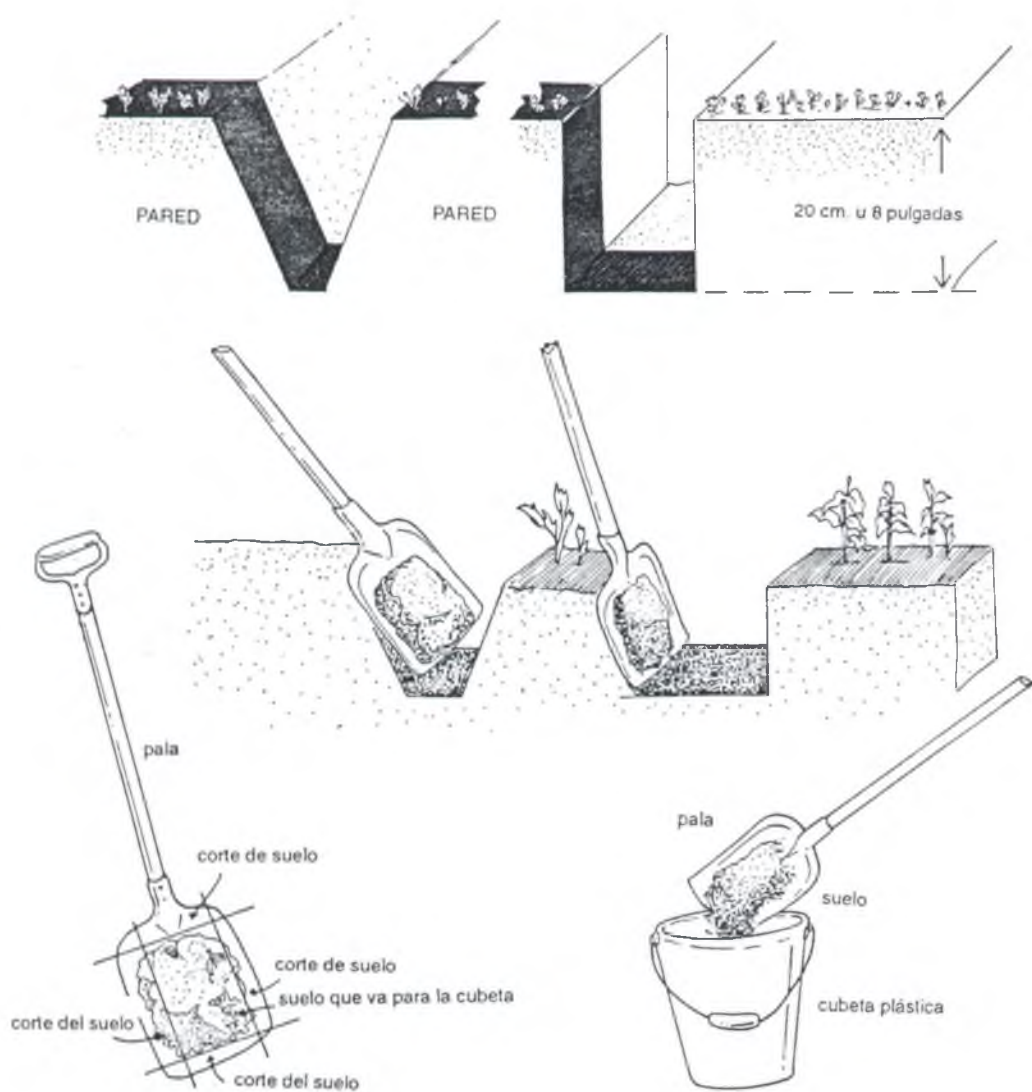
Anexo 2. Número de muestras compuestas que deben tomarse en un campo, de acuerdo a las condiciones, manejo y topografía del suelo.



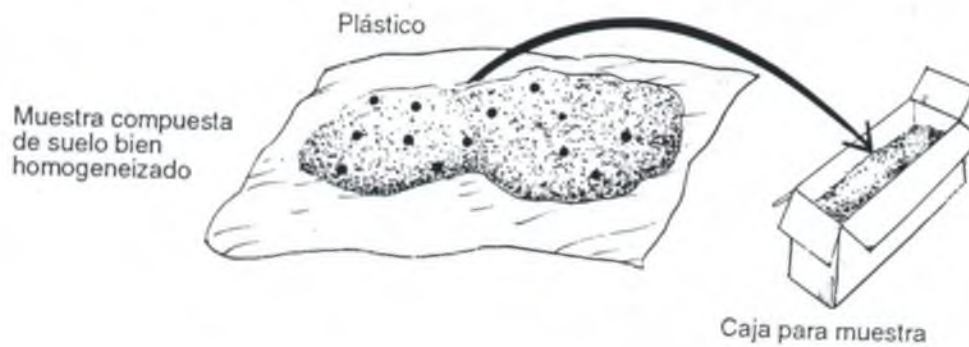
Anexo 3. Profundidad de toma de la muestra de suelo.



Anexo 4. Recorrido en zig-zag para recolectar la muestra de suelo.



Anexo 5. Forma de sacar la submuestra con l pala y depositarla en la cubeta.



Anexo 6. Forma de pasar el suelo de todas las submuestras de un de las cubetas de plástico respectivo, y paso de la muestra compuesta a la caja o bolsa para el laboratorio.

INIAP
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DPTO. MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
SUELOS

Panamericana Sur Km. 14 1/2. Apdo. 17-01-340 Quito-Ecuador Telfs.: 690-691(2,3) Telefax: 690694

INFORMACION DE LA MUESTRA

No. Laboratorio del _____ al _____ Fecha de entrega de resultados: _____
 Fecha de muestreo: _____ Fecha de ingreso al laboratorio: _____
 Propietario: _____ Altitud: [] Longitud: [] Latitud []

Remitente: _____
 (Nombre del Técnico) (Nombre de la institución que trabaja)

Los resultados serán enviados: Al remitente: Por fax: [] Oficina Central:

Localización: _____
 (Nombre de la granja) Parroquia: _____ Cantón: _____ Provincia: _____

IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS

No. Lab.	Identificación agricultor	Sup. ha	CULTIVO					Cond. Cultivo	
			Anterior	Próximo	Est.	Mant.	Edad	Inv.	Camp.

CARACTERISTICAS DEL TERRENO

No. Agricultor	TOPOGRAFIA 1. plano 2. Ondulado 3. Quebrado	RIEGO 1. SI 2. NO	DRENAJE 1. Bueno 2. Regular 3. Malo	FERTILIZACION Y PRODUCCION ANTERIOR		
				FERTILIZANTE	qq/ha	Producción qq/ha

TIPO DE ANALISIS:

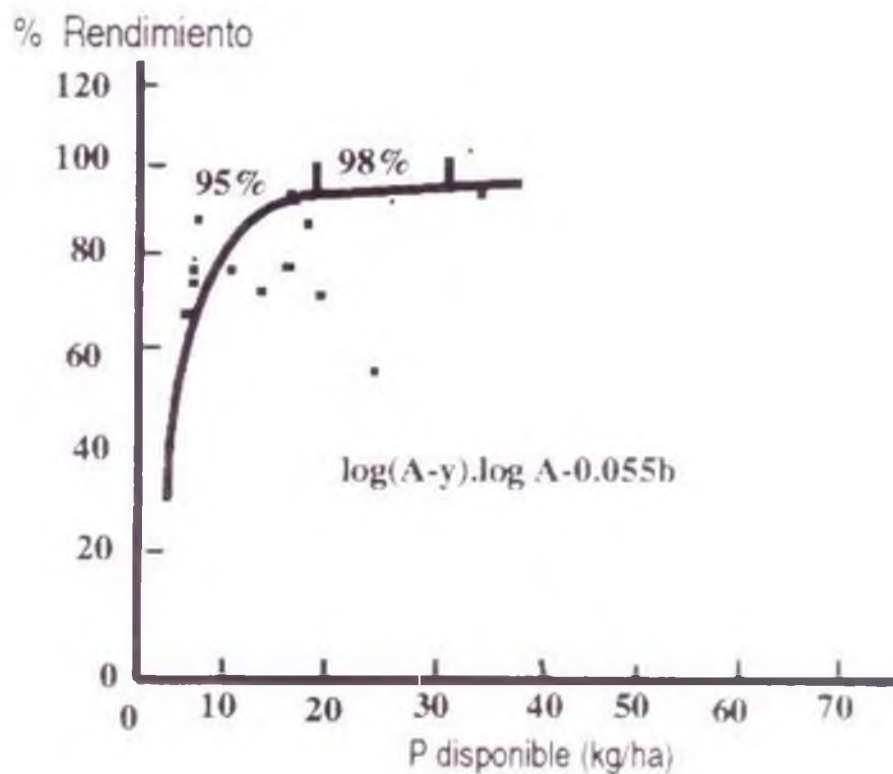
Elemental Completo Salinidad Textura CR
 PM CC CIC

M.O. N. TOTAL Por elemento: []

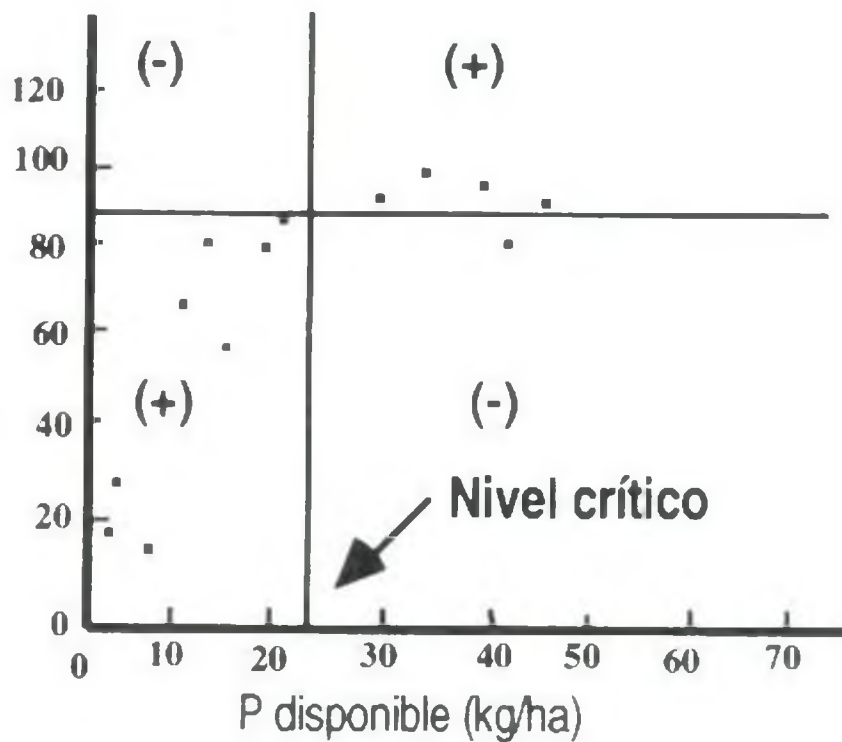
La muestra será guardada en el Laboratorio por dos meses, tiempo en el que se aceptarán reclamos en los resultados.

Técnico que recibe la muestra	Remitente	Factura No.

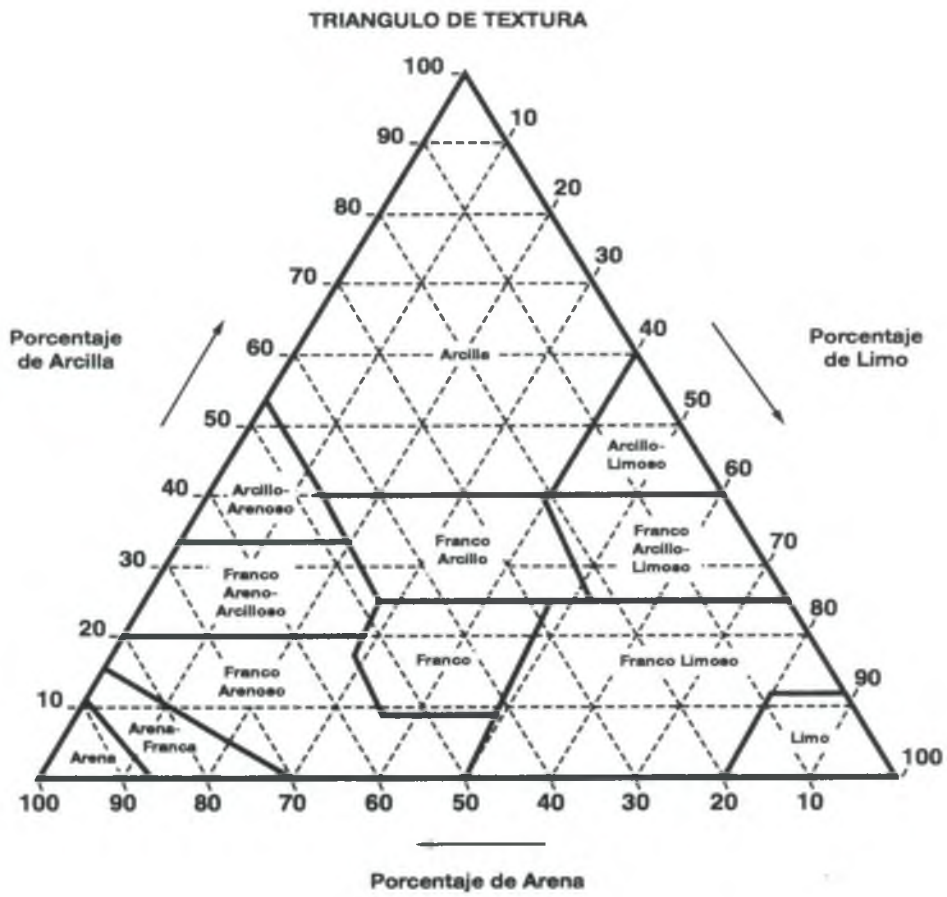
Anexo 7. Hoja de información de la muestra para el análisis químico de suelos.



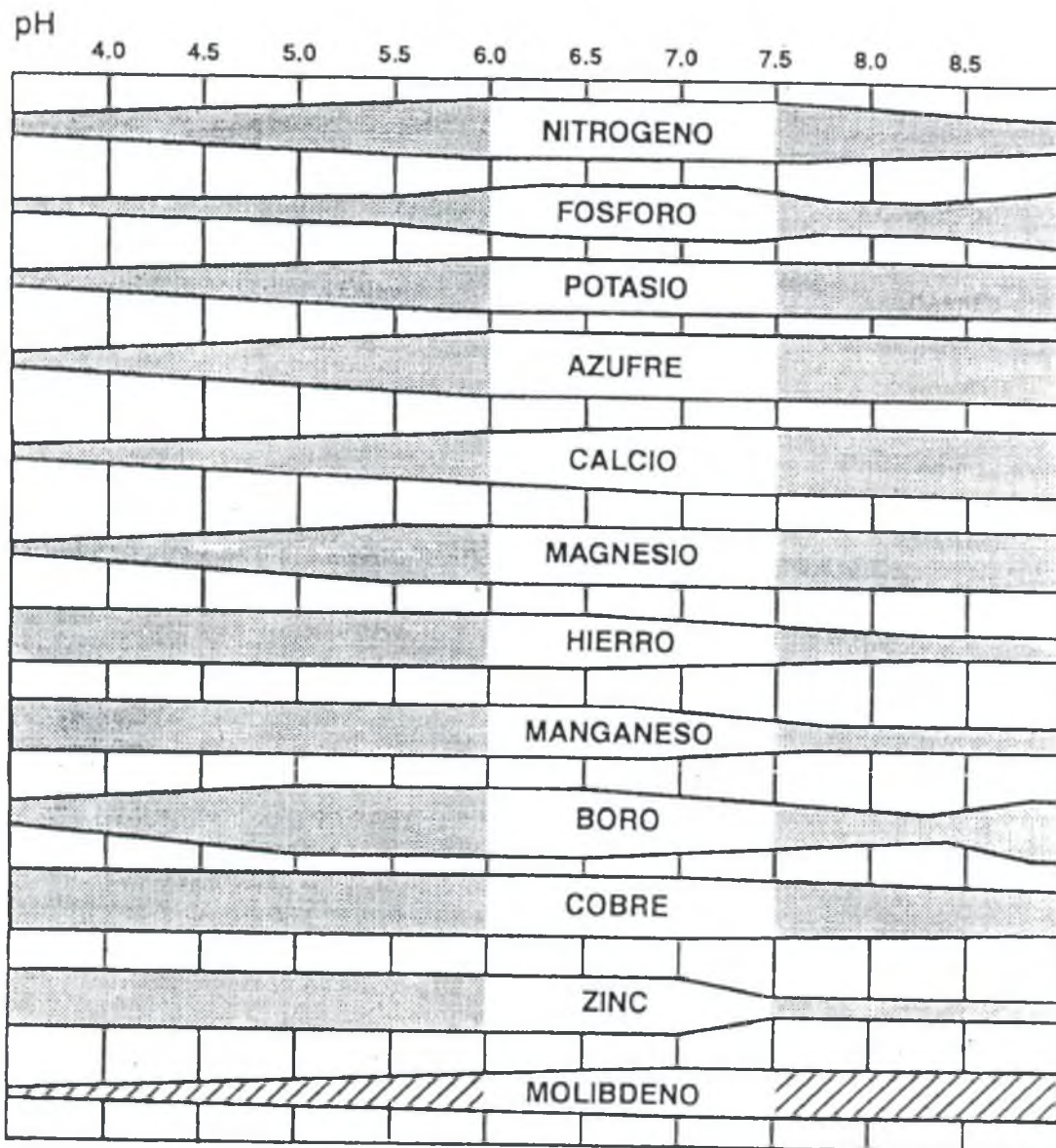
Anexo 8. Determinación del nivel crítico del fósforo disponible, mediante la aplicación del método de rendimiento máximo.



Anexo 9. Determinación del nivel crítico del fósforo disponible, mediante la aplicación del método de Cate y Nelson.



Anexo 10. Triángulo de texturas.

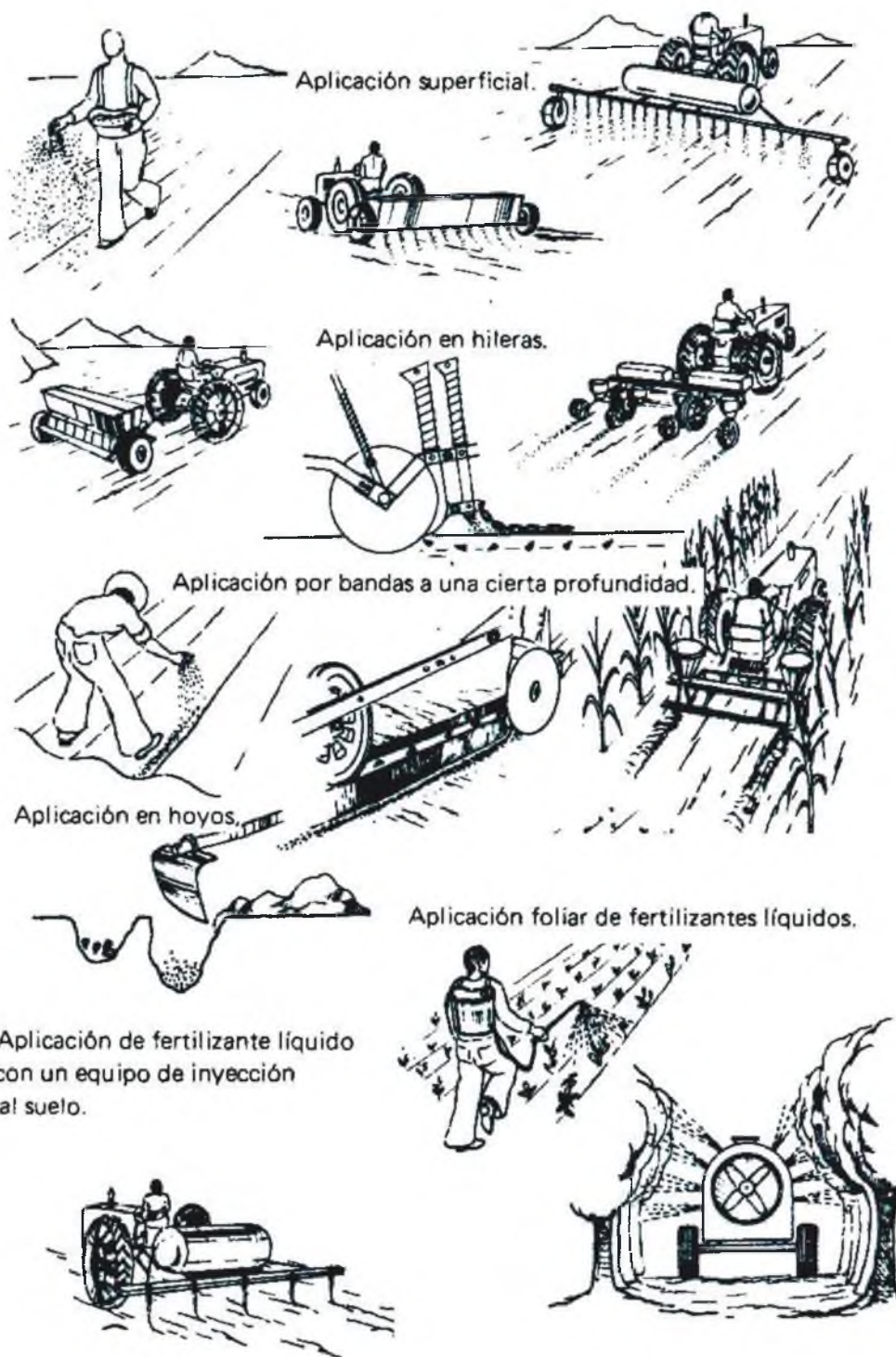


Anexo 11. Disponibilidad de nutrientes con relación al pH.

1 Cloruro de Potasio	2 Sulfato de Potasio	3 Sulfato de Amonio	4 Nitrate de Amonio Cálcico	5 Nitrate de Potasio y Sodio	6 Nitrate de Calcio	7 Cianamida de Calcio	8 Urea	9 Superfosfato, Fosfato Triple	10 Fosfato de Amonio	11 Escorias Básicas	12 Fosfatos Rhenania	13 Hiperfosfatos	14 Carbonato de Calcio
□	□	□	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	□	□	□	□	□
□	□	□	⊗	⊗	⊗	□	⊗	□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	⊗	⊗	■	⊗	□	□	■	■	⊗	■
⊗	⊗	□	□	⊗	⊗	■	⊗	⊗	⊗	■	⊗	□	□
⊗	⊗	⊗	□	□	□	⊗	⊗	□	□	□	□	⊗	□
⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	□	⊗	⊗	■	■	□	⊗	⊗	⊗
⊗	□	■	■	⊗	⊗	□	⊗	■	■	□	□	□	□
⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗
□	□	□	⊗	⊗	■	■	⊗	□	□	■	■	■	■
□	□	□	⊗	⊗	■	■	⊗	□	□	■	■	■	■
□	□	■	■	□	⊗	□	⊗	■	■	□	□	□	□
□	□	■	⊗	□	⊗	□	⊗	■	■	□	□	□	□
□	□	⊗	□	□	⊗	□	⊗	■	■	□	□	□	□
□	□	■	□	□	⊗	□	⊗	■	■	□	□	□	□

□	Fertilizantes factibles de mezclarse.
⊗	Fertilizantes factibles de mezclarse corto tiempo antes de usarse.
■	Fertilizantes infactibles de mezclarse (por razones químicas). La harina de hueso, empleada frecuentemente como "deseccativo", puede mezclarse con todos los demás fertilizantes.

Anexo 12. Compatibilidad de los fertilizantes químicos.



Anexo 13. Localización de fertilizantes químicos.

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO Nombre : Dirección : Ciudad : Teléfono : Fax :	DATOS DE LA PROPIEDAD Nombre : Provincia : Cantón : Parroquia : Ubicación :
DATOS DEL LOTE Cultivo Actual : Cultivo Anterior : Fertilización Ant. : Superficie : Identificación :	PARA USO DEL LABORATORIO N° Reporte : N° Muestra Lab. : Fecha de Muestreo : Fecha de Ingreso : Fecha de Salida :

Nutriente	Valor	Unidad	INTERPRETACION														
N		ppm	<table border="1" style="width: 100%; height: 60px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BAJO</td> <td style="text-align: center;">MEDIO</td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> </tr> </table>							BAJO	MEDIO	ALTO					
BAJO	MEDIO	ALTO															
P		ppm															
S		ppm															
K		meq/100 ml															
Ca		meq/100 ml															
Mg		meq/100 ml															
Zn		ppm	<table border="1" style="width: 100%; height: 40px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BAJO</td> <td style="text-align: center;">MEDIO</td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> </tr> </table>							BAJO	MEDIO	ALTO					
BAJO	MEDIO	ALTO															
Cu		ppm															
Fe		ppm															
Mn		ppm															
B		ppm	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BAJO</td> <td style="text-align: center;">MEDIO</td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> <td style="text-align: center;">TOXICO</td> </tr> </table>								BAJO	MEDIO	ALTO	TOXICO			
BAJO	MEDIO	ALTO	TOXICO														
pH			<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">5.5</td> <td style="text-align: center;">6.5</td> <td style="text-align: center;">7.0</td> <td style="text-align: center;">7.5</td> <td style="text-align: center;">8.0</td> </tr> </table>									0	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0
0	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0												
Acidez Int. (Al+H)		meq/100 ml	<table border="1" style="width: 100%; height: 40px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BAJO</td> <td style="text-align: center;">MEDIO</td> <td style="text-align: center;">TOXICO</td> </tr> </table>							BAJO	MEDIO	TOXICO					
BAJO	MEDIO	TOXICO															
Al		meq/100 ml															
Na		meq/100 ml	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">No Salino</td> <td style="text-align: center;">Lig. Salino</td> <td style="text-align: center;">Salino</td> <td style="text-align: center;">Muy Salino</td> </tr> </table>								No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino			
No Salino	Lig. Salino	Salino	Muy Salino														
CE		dsmhos/cm	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BAJO</td> <td style="text-align: center;">MEDIO</td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> </tr> </table>							BAJO	MEDIO	ALTO					
BAJO	MEDIO	ALTO															
MO		%	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">BAJO</td> <td style="text-align: center;">MEDIO</td> <td style="text-align: center;">ALTO</td> </tr> </table>							BAJO	MEDIO	ALTO					
BAJO	MEDIO	ALTO															

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	(%)			Clase Textural
Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	

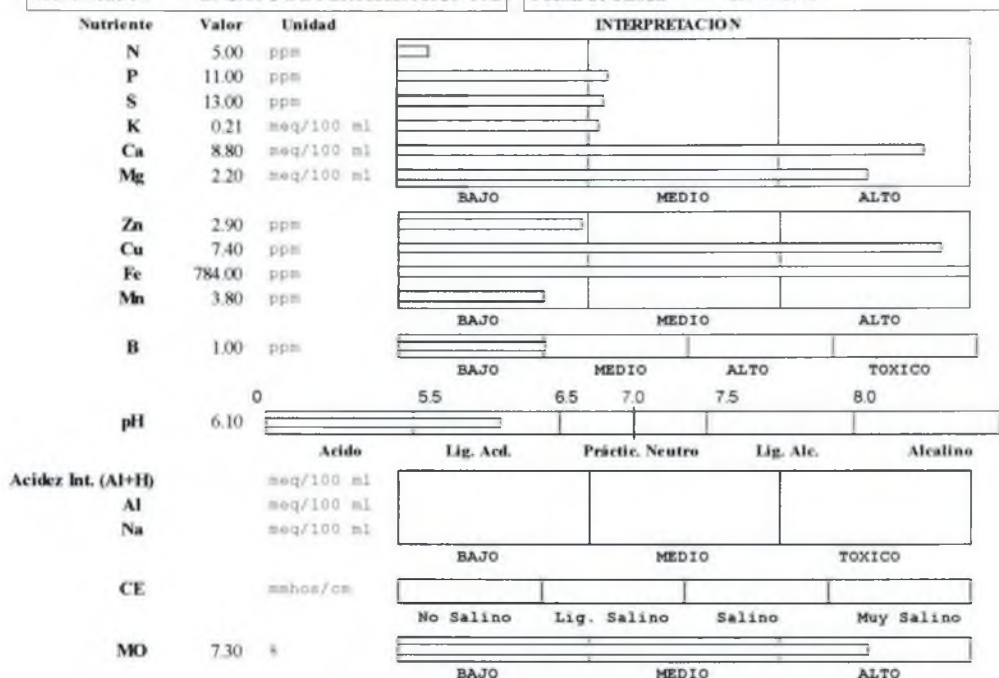
RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

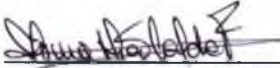
Anexo 14. Fertigrama.

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p align="center">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : PROYECTO FORTIPAPA Dirección: MACHACHI Ciudad : Teléfono : Fax :</p>	<p align="center">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : ING. FRANKLIN VALVERDE Provincia : PICHINCHA Cantón : MEJIA Parroquia : MACHACHI Ubicación :</p>
<p align="center">DATOS DEL LOTE</p> <p>Cultivo Actual : PAPA Cultivo Anterior : BARBECHO Fertilización Ant. : Superficie : Identificación : ENSAYO DE FERTILIZACION PAP</p>	<p align="center">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>N° Reporte : 1.864 N° Muestra Lab. : 42038 Fecha de Muestreo : 13/02/2002 Fecha de Ingreso : 21/03/2002 Fecha de Salida : 25/04/2002</p>



Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	%			Clase Textural
						Arena	Limo	Arcilla	
Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	58	37	5	Franco-Arenoso
4,0	10,5	52,4	11,2						



RESPONSABLE LABORATORIO



LABORATORISTA

Anexo 15. Fertigrama con los resultados de las determinaciones químicas y físicas del laboratorio, para el cultivo de la papa.

RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN

FECHA: 25/04/2002 FORTIPAPA

MUESTRA No.	CULTIVO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	FERTILIZANTE (Fuente)	CANTIDAD Sacos de 50 Kg	EPOCA Y FORMA DE APLICACION
		Kg/ha						
42038	Papa	200	300	100	40	Urea	8.70	La urea fraccionar para tres aplicaciones. el resto de fertilizantes aplicar a la siembra.
Ensayo fertilización						Superfosfato triple	13.04	
						Muriato de K	3.33	
						Azufre	2.42	

La recomendación se realiza en base al análisis químico del suelo, sin considerar la parte física y climática de la zona en cuestión, por lo tanto esta se constituye en una guía de fertilización que debe ser ajustada por técnicos de la zona, considerando condiciones de clima y agua especialmente


 Ing. Yami Carragena
 RESPONSABLE DE RECOMENDACIÓN

Anexo 16. Fertigrama con las recomendaciones de fertilización química para el cultivo de la papa.

Microsoft Excel - Oferta-Demanda-1

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

N6

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN
OFERTA-DEMANDA 1

PROPIETARIO

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS: OFERTA DEL SUELO

N. SUELO	LOTE	ELEMENTOS				
141	1	N	P	K	Ca	Mg
CANTIDAD		11	13	13	8.01	8.1

INTERPRETACIÓN

RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN: DEMANDA DEL CULTIVO

N. SUELO	LOTE	ELEMENTOS				
141	1	N	P	K	Ca	Mg
CANTIDAD		271.83	18.73	8.88	122.81	

RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN:

FERTILIZANTES SIMPLIS

FRENTE	CANTIDAD
UREA	337.83 11.32
SUPERFOSFATO TRIPLE	23.84 6.28
MONIATO DE POTASIO	571.83 7.83
ACUFOS	8.88 8.88

FERTILIZANTES COMPUESTOS

FRENTE	CANTIDAD
TRATADO DE APORQUE	219.25 14.33
18-46-08	23.84 6.28
MONIATO DE POTASIO	571.83 7.83
SULFATO	8.88 8.88

CONDICIONES

ECUALIDAD

FRENTE	CANTIDAD
Ca	8.2 4

MATERIA ORGÁNICA

N. S.	CANTIDAD
141	1000 1.00

Inicio | Recomendación de fertil... | W. ANEXOS - Microsoft... | Microsoft Excel - Of... | 2056

Anexo 18. Hoja de cálculo EXCEL. Recomendación de fertilización química para el cultivo de la papa. Utilizando la Demanda del cultivo y la Disponibilidad en el suelo propuesta por BERTSCH (4) y CASTRO (7).

Microsoft Excel - Oferta-Demanda-2

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

H7

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN
OFERTA-DEMANDA 2

1 PROPIETARIO

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012

1013

1014

1015

1016

1017

1018

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

1029

1030

1031

1032

1033

1034

1035

1036

1037

1038

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084

1085

1086

1087

1088

1089

1090

1091

1092

1093

1094

1095

1096

1097

1098

1099

1100

1101

1102

1103

1104

1105

1106

1107

1108

1109

1110

1111

1112

1113

1114

1115

1116

1117

1118

1119

1120

1121

1122

1123

1124

1125

1126

1127

1128

1129

1130

1131

1132

1133

1134

1135

1136

1137

1138

1139

1140

1141

1142

1143

1144

1145

1146

1147

1148

1149

1150

1151

1152

1153

1154

1155

1156

1157

1158

1159

1160

1161

1162

1163

1164

1165

1166

1167

1168

1169

1170

1171

1172

1173

1174

1175

1176

1177

1178

1179

1180

1181

1182

1183

1184

1185

1186

1187

1188

1189

1190

1191

1192

1193

1194

1195

1196

1197

1198

1199

1200

1201

1202

1203

1204

1205

1206

1207

1208

1209

1210

1211

1212

1213

1214

1215

1216

1217

1218

1219

1220

1221

1222

1223

1224

1225

1226

1227

1228

1229

1230

1231

1232

1233

1234

1235

1236

1237

1238

1239

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270

1271

1272

1273

1274

1275

1276

1277

1278

1279

1280

1281

1282

1283

1284

1285

1286

1287

1288

1289

1290

1291

1292

1293

1294

1295

1296

1297

1298

1299

1300

1301

1302

1303

1304

1305

1306

1307

1308

1309

1310

1311

1312

1313

1314

1315

1316

1317

1318

1319

1320

1321

1322

1323

1324

1325

1326

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

1334

1