



❖ *Muestreo de suelos
e interpretación
de resultados
de laboratorio*

Muestreo de suelos e interpretación de resultados de laboratorio

Ing. Agr. Grover E. Guaygua - suelos@cetabol.bo
Ing. M.Sc. Forestal Daniel R. Espinoza - Daniel_ev1@yahoo.com

El suelo es considerado un medio natural donde las plantas obtienen el agua, aire y nutrientes minerales, necesarios para su normal nutrición y desarrollo.

El constante uso del suelo con fines agropecuarios y los distintos manejos que realiza cada productor; hacen que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo cambien en el transcurso de los años, por lo general en forma negativa (sanidad del suelo, compactación y pérdida de la materia orgánica).

Uno de los cambios que ocurren en el suelo y en el cual centraremos el tema es sobre las características químicas, ya que este llega a ser uno de los limitantes para el desarrollo de los cultivos.

Para el cultivo planificado a sembrar es muy importante conocer el estado nutricional del suelo; el nivel de salinidad; la capacidad que tiene el suelo en intercambiarlos nutrientes, así mismo las relaciones entre los nutrientes. Esto le permite al productor tomar decisiones al momento de realizar las siguientes prácticas:

- Identificar lotes con bajos niveles nutricionales.
- Identificar lotes con problemas de salinidad.



Imagen 1.- Diferencias de porosidad en el perfil.

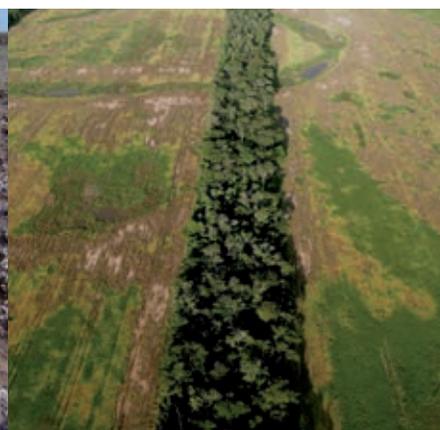


Imagen 2.- Desuniformidad en el perfil del suelo.

- Realizar un mejor mapeo de sus parcelas según sus ambientes de producción.
- Estimar la cantidad de fertilizante a aplicar.
- Planificar los momentos de realizar a cada lote el manejo y las enmiendas

🔧 **Recomendaciones generales para un muestreo**

Para un correcto muestreo de suelo y envío de muestras a un laboratorio. Hay que tener en cuenta que es la primera activi-



Imágenes 3-4-5.- Desuniformidad de la superficie del suelo con problemas de germinación, salinidad y anegamiento de la mayor parte del lote.



Imágenes 6-7-8.- Para realizar un muestreo correcto, el suelo debe estar próximo a capacidad de campo, evitando el suelo muy seco o muy saturado de agua y/o tres días después de una lluvia.

dad y una de las más importantes para realizar el análisis químico de los suelos, por ello se deben considerar las siguientes pautas:

¿Cuándo realizar los muestreos de suelos? Los momentos y condiciones de suelo para realizar los muestreos son;

- Para tomar muestras de un suelo que se hubiera fertilizado es necesario que hubiera ocurrido 8 semanas para fertilizantes orgánicos y para fertilizantes mineral después de 5 semanas, considerando que estos llegaron a tener condiciones de buena humedad del suelo y/o buena precipitación.
- Para cultivos anuales el muestreo de suelo se debe realizar 1 a 2 meses antes de la siembra.
- Lo ideal es muestrear entre la cosecha y la próxima siembra.
- Realizar el muestreo cuando se detecten problemas de deficiencias,

permitirán realizar correcciones en la próxima campaña agrícola.

- Para los cultivos perennes la mejor época de muestreo de suelos es en la época de reposo vegetativo, entre el tronco y el área de fertilización de la anterior campaña.

Estos puntos deben tomarse muy en cuenta al momento de muestrear, ya que las propiedades del suelo varían con las estaciones y con las operaciones de manejo de suelos.

❖ Criterios para determinar el área de muestreo

Uno de los criterios para que el muestreo de suelo sea bien realizado, es el de identificar la desuniformidad de suelo dentro de un lote, clasificar el área del cual se tomaran submuestras ya sea a mano alzada o con ayuda de imágenes satelitales, para esto es necesario recorrer el predio para

definir zonas homogéneas bajo los siguientes criterios.

- Áreas con o sin paso de maquinarias.
- Color del suelo.
- Diferencias de cobertura vegetal (vegetación natural que lo rodea).
- Histórico de rendimientos del cultivo (suelos con buena y mala cosecha).
- Cultivo anterior.
- Crecimiento y tipo de malezas.
- Acequias, drenaje (sectores inundados húmedos con sectores no húmedos).
- Entrada a potreros.
- Lugares donde se acumularon residuos vegetales o guano.
- Cercas vivas, árboles u otras barreras.
- Para cualquiera de estos últimos cuatro puntos es mejor tomar una distancia de 4 a 10 metros.

Hay que tener en cuenta que la variación del error en la determinación de nutrien-



Imágenes 9-10-11.- Los criterios para determinar las áreas de muestreo son; diferencias en el manejo de suelos; no muestrear en lugares recién removidos; lugares salinos llegan a ser otra muestra.



Imágenes 12-13-14.- Los criterios para determinar las áreas de muestreo son; topografía (pendientes y bajuras); diferencias del tipo de suelo que afecta al crecimiento del cultivo; diferencias en la cobertura a causa del anegamiento.



Imágenes 15-16-17-18.- Muestreo en grilla; Identificar las sub muestras que tengan la misma textura y coloración, mezclarlos en un recipiente y homogeneizarlos, sobre una meza y encima de una bolsa de plástico proceder al cuarteamiento, un lado de cada parte opuesta se retira y las otras se colocan en un nuevo embase bien identificado.

tes aumenta cuando es estercolado, encañado o una fertilización mineral fue aplicada recientemente al suelo.

Al comparar sistemas de manejo de suelo, asegúrese que los sitios elegidos para la comparación estén localizados en el mismo tipo de suelo y con la misma topografía; si el muestreo es realizado en una huella de maquinaria al realizar el muestreo del otro lote también se debe muestrear en una huella de maquinaria.

❖ Cantidad de muestras que se deben recolectar

Una vez clasificado el área del cual se tomaran las submuestras, se recomienda la recolección de (20 a 30 submuestras) en una superficie de 2 a 4 ha para las parcelas que no presenten uniformidad de textura u otro; y en caso de presentarse un suelo uniforme desde 20 a 40 ha por muestra compuesta. Se puede afirmar que cuanto mayor sea la variabilidad del suelo mayor será el número de muestras que se deben obtener por

cada parcela.

Si el propietario y el encargado de realizar el muestreo no entienden esta lógica se pueden cometer errores muy groseros en el muestreo.

CuarTEAMIENTO

En el caso de realizar el muestreo mediante las metodologías de zig zag o en

grilla; la composición ideal de una muestra se da por el cuarteamiento del material, homogeneizar bien las submuestras en un recipiente; echar la muestra sobre una hoja de plástico de aproximadamente 70 a 100 cm de lado. A continuación expandir la muestra y dividirlo en seis partes iguales. Desechar tres porciones de suelos de cada lado opuesto y repetir

EQUIPOS PARA RECOLECTAR LAS MUESTRAS

Muestreo con pala	Muestreo con barreno
1. Pala cuadrada plana	1. Barreno helicoidal
2. Bolsas de plástico limpios	2. Taladro con broca grande
3. Etiquetas y marcadores permanentes	3. Bolsas de plástico limpios
4. Balde de plástico capacidad 10 litros	4. Etiquetas y marcadores permanentes
5. Cuchillo	5. Balde de plástico capacidad 10 litros
6. Guantes de látex	6. Guante de látex
7. Croquis de la parcela	7. Croquis de la parcela
	8. GPS ó navegador



Imágenes 19-20-21-22.- En el muestreo o cuarteamiento se debe realizar con guantes de látex desechables para no contaminar con sudor; también no debe estar fumando o ingiriendo algún producto que puedan contaminar la muestra.

la misma acción hasta obtener de 300 a 500 g de suelo que son suficientes. En el caso de contar con muestras que presenten gran cantidad de fracciones gruesas, serán necesarios de 1 a 2 kg de muestra.

❖ Profundidad de muestreo

Las muestras de suelo para cultivos anuales deben obtenerse a una profundidad de 0 a 20 cm ó 0 a 30 cm de profundidad de la capa arable, ya que a estas profundidades se registran la mayor densidad y actividad de las raíces; antes de realizar el muestreo se deben eliminar aproximadamente los primeros 1 cm retirando los rastrojos del suelo superficial, sin mover la parte superficial del mismo suelo, para de esta forma evitar la contaminación con los restos de material vegetal el cual podría dar una mala lectura de la Materia Orgánica. La profundidad del muestreo se lo debe rotular en la identificación que se enviará al laboratorio.

❖ Cuidados para evitar contaminar las muestras

Al momento de realizar las operaciones ya descritas no se debe estar consumiendo alimentos, fumar, evitar el acullico o boleo de la hoja de coca, ya que las cenizas del cigarro, saliva, bico o bicarbonato, orín u otro tipo de contaminantes pueden afectar el resultado del análisis del suelo, también se recomienda que las operaciones donde hubiese contacto del suelo con la mano usar guantes desechables para evitar el contacto del sudor con la muestra de suelo para analizar.

❖ Formas de tomar las muestras

Detallaremos las tres formas más comunes de tomar las muestras de suelos:

Muestreos en forma de zig zag

Este método es más empleado por pequeños y medianos productores, la forma de recolección es muy sencilla, las submuestras serán recolectadas en zig zag, como se muestran en el gráfico 2, en puntos equidistantes de 15 a 20 pasos, cada uno acomodados, luego se los acomodaba en recipientes de plástico y limpios, para posteriormente ser mezclados.

Otra forma es el de dividir las parcelas en lotes homogéneos para cada división realizada; el muestreo se lo realiza en zig zag, y será más exacto cuanto mayor sea el número de submuestras (se considera un número adecuado de 20 a 30 submuestras de igual tamaño).

Para ambos casos la forma de muestrear

son aquellas como se muestra en los gráficos 1 y 2.

Una vez identificadas las áreas de muestreo.

- Con la ayuda de una pala, el muestreo consiste en hacer un hoyo en forma de V.
- Sacar con la pala una rebanada de aproximadamente 2 a 3 cm. de espesor y hasta una profundidad de 20 ó 30 cm.
- Con la ayuda de un cuchillo dividirlo en tres partes, eliminar los laterales y dejar por lo menos 3 cm. de ancho. Cada submuestra central debe colocarse en envases limpios e individuales. Se recomienda realizar por lo menos 20 submuestras por parcela. Lo enunciado se lo resume en los próximos cinco pasos.
- Después de recolectar todas las submuestras se deben mezclar en un balde o recipiente.
- Mezclar hasta obtener una sola

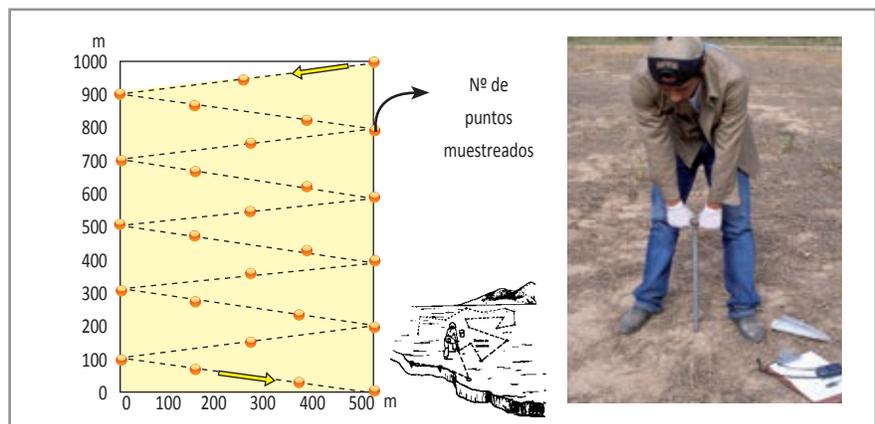


Gráfico 1.- Formas de tomar muestras de suelo en forma de zigzag



Imágenes 23-24-25-26-27.- Procedimientos del muestreo con pala.

muestra homogénea.

- Después se procede al cuarteamiento, que consiste en echar la muestra sobre una hoja de plástico de aproximadamente 70 a 100 cm de lado.
- A continuación expandir la muestra y dividir en seis partes iguales. Desechar tres porciones de suelo en lados opuestos y repetir la misma acción hasta obtener 500 gramos de suelo.
- Colocar en una nueva bolsa de plástico.
- La muestra debe ser enviada con su identificación y los datos correspondientes.

Un requisito muy importante para el productor es contar con un croquis de muestreo y en qué puntos se extrajeron las muestras, si le es posible georeferenciarlo. Para cuando salgan los resultados del laboratorio pueda identificar los puntos exactos.

Muestreos georeferenciados (método en grillas)

En este método de muestreo se realiza con ayuda de un GPS, la metodología tie-

ne un carácter más técnico; a la parcela se la subdivide en cuadrículas de 50 ó 100 metros de distancia entre un punto y el otro, se recolectan cada muestra individual y se colocan en bolsas de plástico individuales, las muestras recolectadas se

disponen en una mesa de la misma forma como se encontraban en la parcela y después se hacen pruebas de tacto para determinar texturas similares. Las muestras similares se mezclan y se realizan una nueva identificación.

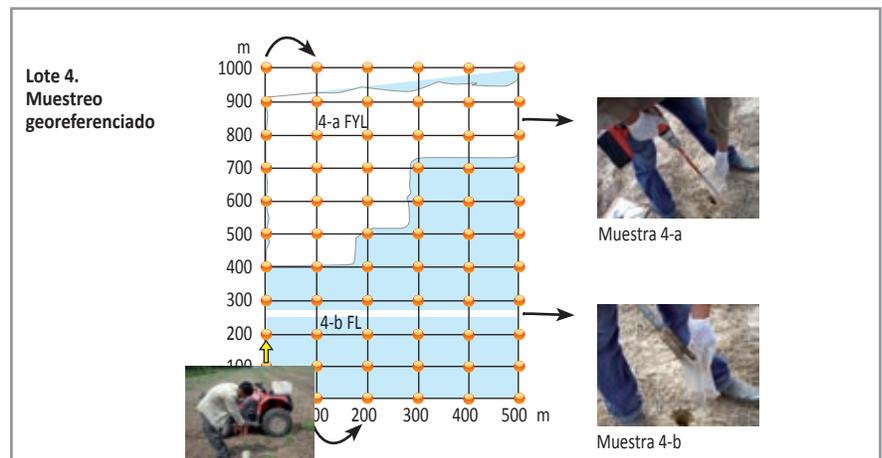


Gráfico 2.- Formas de tomar submuestras de suelo en forma de grillas.



Imágenes 28-29-30- 31.- Formas de tomar las submuestras con un barreno helicoidal y su posterior clasificación mediante el método de texturación al tacto.

Para el muestreo georeferenciado se deben tener en cuenta los siguientes consejos:

- Muestrear con la ayuda de un barrenador helicoidal o taladro de broca grande. Estos equipos son utilizados por lo general en los muestreos georeferenciados y con ayuda de mapas o croquis de la parcela.
- Con estos equipos solo se sacan pequeñas cantidades de submuestras y a una profundidad de 20 ó 30 cm de profundidad. A las áreas más representativas del lote.
- Se introduce el barrenador dentro del suelo con giros o vueltas hasta la profundidad deseada.
- Cada punto muestreado consistirá en tres submuestras adyacentes de 10 a 15 cm de distancia, las mismas serán recolectadas en una bolsa de plástico.
- Una vez recolectadas las submuestras se analizará si existen diferencias de textura, color y otros para verificar la clasificación y división del lote.
- Una vez mezcladas y homogeneizadas se colocaran en una nueva bolsa de plástico, y se enviará con todos los datos de identificación a laboratorio.

Muestreos mediante índice verde (con imágenes satelitales)

El muestreo se realiza con ayuda de un GPS y datos geo-referenciados obtenidos a partir de sistemas de sobre-posicionamiento de varias imágenes satelitales.

Este es una herramienta para productores de avanzada que pretenden maximizar el rendimiento de su cultivo a partir de su estimación del potencial del mismo y con el uso de herramientas de agricultura de precisión. Para esto necesita realizar el diagnóstico rápido de sus campos, partiendo de su historial por lote, relieves de cada lote, mapa de nutrición de cada lote. Con estos datos el productor podrá elaborar; mapas de producción por ambientes, mapas de anegamiento, mapas de calidad de suelo; interpretando estos últimos resultados es más fácil determinar los lugares donde realizar los puntos de muestreo y realizar las fertilizaciones sectorizadas.

Para alcanzar estos resultados, los productores deben realizar estudios y análisis multi-temporales con las imágenes satelitales de su predio.

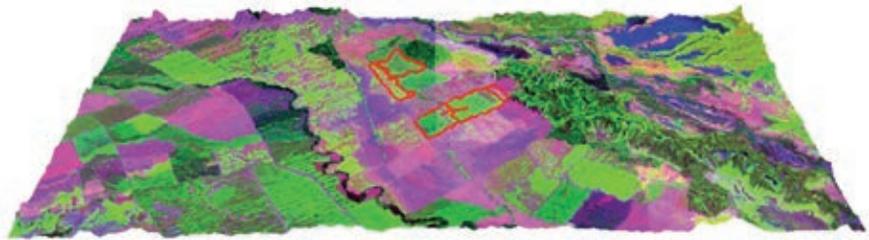


Imagen 32.- Modelo de elevación digital en 3D de un predio, es utilizado para determinar pendientes y saber el uso que se le dará a cada predio.



Imagen 33.- Modelo para determinar la dirección hídrica, se lo utiliza para saber los puntos de salida de las aguas de lluvia, también nos dan referencias de donde son las zonas de riesgo para inundaciones, bajuras.

Relieve

Cuando se realizan trabajos de relieves de propiedades o lotes, de lo que se trata es de ver al campo en tres dimensiones (3D), para esto se parte de modelos de elevación digital (DEM), también esta herramienta nos permite elaborar mapas de pendientes en donde se puedan visualizar los micro-relieves dentro de una parcela; de esta forma se elaborarían redes hidrográficas para determinar la dirección de los drenajes de agua de lluvia y de esta forma corregir o prevenir los riesgos de erosión.

Mapa de nutrición de cada lote

Para alcanzar a construir estos mapas se parten de imágenes satelitales rectificadas para determinar el índice verde (NDVI), estos pueden ser procesados por diferentes paquetes computarizados o software a elección, pudiendo elaborar mapas por ambiente a muestrear, comparando las características similares que existan entre ellos. Para obtener puntos de muestreo aún más cercanos a la realidad del productor se debe facilitar información como ser mapas de producción obtenidos a partir de sus cosechadoras

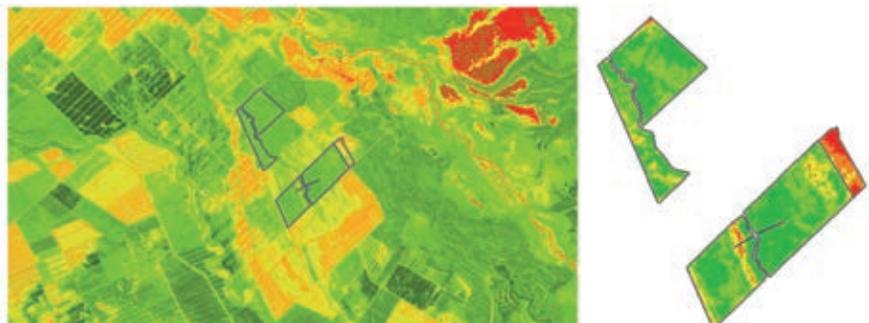


Imagen 34.- Modelo de Índice Verde (NDVI), obtenidas a partir de imágenes satelitales rectificadas, se determinan la actividad fotosintética de las plantas así como también los lugares de anegamiento (las zonas en proximidad al rojo significan menor actividad fotosintética, las zonas próximas al verde significan mejor actividad fotosintética).

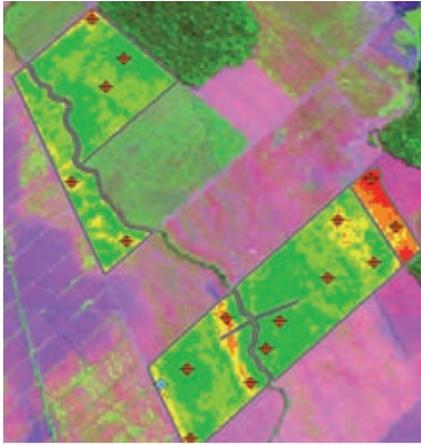


Imagen 35.- Muestreros del análisis NDVI de anteriores imágenes satelitales, distribuidos principalmente en zonas con menor y mayor actividad fotosintética.

158
CETABOL - JICA
 MUESTRA DE SUELO PARA ANALISIS
 DATOS GENERALES
 NOMBRE CLIENTE: **CETABOL**
 DIRECCION: **Km 12 Granja experimental**
 LOCALIDAD: **SAN JUAN**
 TECNICO SUPERVISOR: **OSCAR ISHIZAWA**
 DATOS DE LA MUESTRA
 FECHA DE MUESTREO: **11 Junio 2010**
 UBICACION: **Granja exp. LOTE SUR LOTE TV-6**
 MUESTRO N°: **1** PROFUNDIDAD MUESTRO: **0,20**
 CULTIVO ANTERIOR: **Arroz** PROXIMO CULTIVO: **Soya**
 METODO DE CUELTO: DIRECTO POST-SESIÓN MÍNIMO
 TRATAMIENTO ESPECIAL: **Ensayo de Fertilizantes**

Imagen 36.- Identidad a detalles de la muestra para enviar al laboratorio de suelo.

que cuenten con sensores; históricos de producción por lote y por campaña; datos agro-climatológicos.

En caso de no disponer de esta información, los puntos de muestreo serán ajustados en el transcurso de futuros años, haciendo un seguimiento del comportamiento del suelo y la producción de los cultivos dentro de las mismas áreas.

El muestreo de suelo, se recomienda ser realizado por técnicos debidamente capacitados, ya que un error, compromete en gran medida los resultados que espera obtener el productor. También en este proceso de muestreo y seguimiento a los lotes, se puede implementar el manejo de la física del suelo y determinar la dinámica del agua útil en el perfil.

❖ **Acondicionamiento e identificación de la muestra**

Si las muestras van a tardar más de un día en llegar al laboratorio, se deberán secar las muestras bajo sombra y sobre un papel de

madera mínimo tres días; y enviar al laboratorio en bolsas de plástico limpio de capacidad de 1 a 2 kg dependiendo de la cantidad de muestras, la etiqueta deberá plastificar o colocarse individualmente dentro de una bolsa de plástico, para evitar que se humedezca y deteriore la identificación, debiendo contener los siguientes datos:

- Nombre del solicitante
- Fecha del muestreo
- Lugar del muestreo; estado, municipio, nombre de la propiedad y si es posible las coordenadas del lugar.
- Número de la muestra.
- Profundidad de muestreo.
- Tamaño del área muestreada.
- Tipo de relieve, (altura, bajura, planicie ó morros).
- Observaciones complementarias sobre; el estado actual del suelo, condiciones climáticas, vegetación predominante, sistema de siembra y otros.
- Indicar el tratamiento o tipo de análisis a realizarse.
- Cultivo anterior.
- Cultivo que se sembrará.

❖ **Análisis de la muestra en laboratorio**

Con los resultados del laboratorio obtendremos los niveles de nutrientes presentes en el suelo, así como otras características del suelo los cuales son muy útiles al momento de dar una buena recomendación de nutrición.

Actualmente los laboratorios utilizan modernos aparatos como el medidor de pH, espectrofotómetros de absorción atómica, espectrofotómetro UV visible, fotómetro de llama; la características de estos aparatos son el de medir de forma rápida y exacta las cantidades de minerales que se encuentran en el suelo.

En el proceso de aislamiento de nutrientes se utilizan soluciones extractoras que pueden imitar la actividad radicular del cultivo. Cabe aclarar que cada región de un determinado país debería realizar trabajos de investigación para de esta forma seleccionar las soluciones extractoras más apropiadas en el análisis de sus condiciones edafoclimáticas; un claro ejemplo es el método de análisis del Fósforo, para Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, no se utilizan las misma soluciones extractoras para suelos provenientes de ciertas partes del Chapare (Bosques cálidos húmedos con valores de pH ácidos) se deben analizar con el método "Bray I". Mientras aquellas muestras provenientes de la zona central o zona este (Monte medio húmedo a seco con valores de pH neutros, alcalinos a muy alcalinos) deben ser analizados por el método "Olsen modificado".

Entonces es muy importante que los laboratorios especializados y acreditados para realizar análisis de suelo, puedan hacer un correcto diagnóstico de las condiciones nutricionales del suelo.

❖ Diagnóstico del resultado del laboratorio

El diagnóstico del suelo en sí es complejo, ya que se deben tomar en cuenta todos los resultados obtenidos en laboratorio. Es necesario dar énfasis a la interpretación para realizar una correcta fertilización de los cultivos.

Para realizar un correcto diagnóstico de las condiciones nutricionales de un lote a partir de su muestra enviada al laboratorio se debe conocer:

1. Valores referenciales para determinar la condición nutricional del suelo.
2. Requerimiento nutricional, para suplir las necesidades nutricionales que tiene un cultivo para alcanzar un determinado rendimiento.
3. La capacidad del suelo para proveer nutrientes al cultivo.
4. Determinar la dosis del fertilizante.

❖ Valores referenciales para determinar la condición nutricional del suelo

Para determinar en forma general la condición nutricional del suelo se utilizan los valores referenciales, estos no son aplicables en la determinación de la cantidad exacta de fertilizante que requiere un cultivo. Estas tablas se utilizan en primera instancia para poder comparar con los resultados del laboratorio y verificar el nutriente de menor cantidad para un cultivo; se deben tener en cuenta que las unidades sean las mismas que se presentan en las tablas siguientes:

Valores referenciales	pH	Valores referenciales	umho/cm CE
Muy ácido	< 5.5	No salino	< 330
Acido	5.5 - 6.5	Débilmente salino	330 - 570
Neutro	6.6 - 7.3	Moderadamente salino	571 - 1060
Alcalino	7.4 - 8.4	Fuertemente salino	1061 - 2040
Muy alcalino	> 8.4	Muy fuertemente salino	> 2040

Tabla 1.- Valores referenciales de las condiciones de pH y Conductividad eléctrica del suelo.

Fuente: Metodologías de análisis. Fundación CETABOL, 2008.

Valores referenciales	g/kg		mg/kg		
	M.O.	N. total	N. disp.	P Olsen	Azufre
Muy bajo	< 12	< 0.6	< 16	< 5	< 4
Bajo	12 - 24	0.6 - 1.2	16 - 32	5 - 10	4 - 8
Moderado	25 - 42	1.3 - 2.1	33 - 56	11 - 17	9 - 14
Alto	43 - 60	2.2 - 3.0	57 - 80	18 - 25	15 - 20
Muy alto	> 60	> 3.0	> 80	> 25	> 20

Valores referenciales	cmolc/kg			
	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
Muy bajo	< 0,20	< 2,39	< 0,40	< 0,2
Bajo	0,20 - 0,39	2,39 - 4,79	0,40 - 0,80	0,2 - 0,4
Moderado	0,40 - 0,70	4,80 - 8,38	0,81 - 1,40	0,41 - 0,7
Alto	0,71 - 1,0	8,39 - 11,98	1,41 - 2,0	0,71 - 1,0
Muy alto	> 1,0	> 11,98	> 2,0	> 1,0

Tabla 2.- Valores referenciales de la materia orgánica y de los macronutrientes del suelo.

Fuente: Metodologías de análisis. Fundación CETABOL, 2008.

Valores referenciales	mg/kg				
	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Bajo	< 18	< 6	< 1.2	< 0.6	< 0.4
Moderado	18 - 32	6 - 11	1.2 - 2.1	0.6 - 1.1	0.4 - 0.7
Alto	33 - 45	12 - 15	2.2 - 3.0	1.2 - 1.5	0.8 - 1.0
Muy alto	> 45	> 15	> 3	> 1.5	> 1

Tabla 3.- Valores referenciales de los micronutrientes del suelo.

Fuente: Metodologías de análisis. Fundación CETABOL, 2008.

Para 1 t de producción		Nutrientes											
Cultivo	Necesidad	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)	Fe (g/ha)	Mn (g/ha)	Zn (g/ha)	Cu (g/ha)	B (g/ha)	Mo (g/ha)
Arroz	Requerimiento	22,2	3,1	26,2	2,8	2,4	0,94	0,35	0,37	0,04	0,027	0,016	0,26
	Índice cosecha	0,66	0,84	0,1	0,04	0,42	0,64	0,57	0,16	0,5	0,92	0,5	-
Maíz	Requerimiento	22	3,8	21	3,5	2,7	2,5	0,125	0,189	0,053	0,013	0,020	0,001
	Índice cosecha	0,68	0,76	0,21	0,07	0,53	0,35	0,36	0,17	0,5	0,29	0,25	0,63
Sorgo	Requerimiento	30	4,4	20,8	4	4,5	3,75	0,36	0,34	0,162	0,073	0,001	0,0027
	Índice cosecha	0,66	0,82	0,19	-	0,29	0,57	-	-	-	-	-	-
Trigo	Requerimiento	30	5	19	3	3	4,7	0,137	0,070	0,052	0,010	0,025	-
	Índice cosecha	0,69	0,8	0,21	0,14	0,63	0,34	-	0,36	0,44	0,75	-	-
Soya	Requerimiento	86,55	6,15	24,91	10,42	4,78	3	0,300	0,150	0,060	0,025	0,025	0,005
	Índice cosecha	0,73	0,88	0,49	0,19	0,39	0,72	0,25	0,33	0,7	0,53	0,31	0,85

Tabla 4.- Requerimiento de los cultivos en relación a la necesidad del índice de cosecha.

Fuentes: World Fertilizer Use manual, 1992. García F. y A Berardo. 2006. IFA, Fundación CETABOL, 2010.

❖ Requerimiento nutricional

El requerimiento de cada cultivo para de cada nutriente es muy variable; cada zona deberá realizar individualmente sus estudios de curva de calibración y con estos resultados realizar una tabla como la que se presenta a continuación, si el análisis del suelo indica que un determinado nutriente está bajo o muy bajo, se utilizarán los valores del requerimiento para determinar la cantidad necesaria de fertilizante por aplicar en los cultivos.

En muchos de los casos el análisis de suelo determina los nutrientes se encuentra con valores moderados, en este caso los cálculos de fertilización deben utilizarse los valores de requerimiento y su índice de cosecha. Los valores que se presentan en la tabla 4 están en proceso de ajuste gracias a los trabajos que vienen realizando en coordinación con la Fundación CETABOL los productores de las colonias japonesas Okinawa 1, 2, 3 y San Juan de Yapacaní y otras.

❖ Capacidad del suelo para proveer nutrientes al cultivo

Para hacer un buen balance nutricional (fertilización), es necesario conocer la producción promedio de la zona y rendimiento objetivo que desea alcanzar; evitar trazar metas muy por encima de la máxima producción de la zona.

Una vez trazada las metas, determinar la cantidad de nutrientes que puede aportar el suelo en forma natural, es muy importante la metodología que utilizo el laboratorio para determinar la cantidad de nutrientes existentes en el suelo.

Determinación del Nitrógeno y Fósforo

Para el cálculo del Nitrógeno, Fósforo y otros nutrientes presentes en el suelo se parte del resultado de análisis de laboratorio de una muestra, estos cálculos están más dirigidos a los técnicos, y son los que dan un correcto asesoramiento a los agricultores en cada zona, ya que las condiciones climáticas y de textura son muy variables.

Por esta razón presentamos un resumen del procedimiento para realizar el cálculo de los diferentes nutrientes en el suelo, como ejemplo mostramos los resultados de dos análisis de laboratorio de Nitrógeno y Fósforo ambas muestras de suelo se recolectaron a 20 cm de profundidad y cuyas

Nutriente	mg kg ⁻¹ = ppm
N disponible	26,5
Elemento (kg/ha) = (mg/kg ó ppm) elemento x 3,0	
Para suelos de textura pesada FY	
N = 26,5 x 3,0 = 79,5 kg ha⁻¹ de N	
El suelo tiene 79,5 kg de N/ha para dar al cultivo de trigo	

Tabla 5.- Resultado de análisis químico de N disponible, para fertilizar el cultivo de trigo, en un suelo Franco Arcilloso

texturas de suelos salieron FY (franco arcilloso) para el primero y FL (franco limoso) para el segundo; en donde los resultados que se muestran son multiplicados por 3,0 y 2,7 que son factores de peso de una hectárea de suelo y están en función a la altura del muestreo y la densidad aparente.

Lo que faltaría es saber si son suficientes ó hay necesidad de agregar fertilizante al suelo. Esto determinaremos con los cálculos de requerimientos nutricionales y el rendimiento que debe obtener el productor, como se va a determinar en el siguiente punto.

Determinar la dosis del fertilizante

Como ejemplo ilustrativo para la producción de 1000 kg ha⁻¹ de grano de trigo y soya, según la tabla 4, el suelo debe proporcionar más de 30 kg de N para obtener t/ha de grano de trigo y más de 6,15 kg de P para obtener 1 t/ha de grano de soya.

Requerimiento Total de Nitrógeno

$$N = 30,0 \times 3,0 = 90,0 \text{ kg ha}^{-1}$$

El cultivo necesita 90,0 kg de N/ha para producir 3 t de trigo/ha

Nitrógeno que falta aplicar al suelo

$$N = 90,0 - 79,5 = 10,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

El suelo necesita que se le aplique 10,5 kg de N/ha para producir 3 t de trigo/ha

Requerimiento Total de Fósforo

$$P = 6,15 \times 3,0 = 18,45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

El cultivo necesita 18,45 kg de P/ha para producir 3 t de soya/ha

Fósforo que falta aplicar al suelo

$$P = 18,45 - 9,5 = 8,95 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

El suelo necesita que se aplique 8,95 kg de P/ha para producir 3 t de soya/ha

Nutriente	mg kg ⁻¹ = ppm
P	3,5
Elemento (kg/ha) = (mg/kg ó ppm) elemento x 2,7	
Para suelos de textura mediana FL	
P = 3,5 x 2,7 = 9,5 kg ha⁻¹ de P	
El suelo tiene 9,5 kg de P/ha para dar al cultivo de soya	

Tabla 6.- Resultado de análisis del P Olsen, para fertilizar el cultivo de soya, en un suelo Franco Limoso

Cálculo del fertilizante nitrogenado

Los fertilizantes adicionados al suelo tienen diferentes comportamientos, tal es el caso del N que hasta el 50% aplicado al suelo, estará disponible para las plantas. Entonces si en el suelo hay un déficit de 10,5 kg de N/ha, la cantidad a incorporar al suelo tomando en cuenta un 50% de efectividad será:

$$N = (10,5/0,5) = 21,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}$$

que se debe adicionar al suelo.

La fuente del fertilizante a emplearse será la urea (46-0-0) (N-P₂O₅-K₂O), por lo tanto la cantidad de urea necesaria por hectárea será:

$$\text{Kg Urea/ha} = 21,0 \times (100/46) = 45,6 \text{ kg urea/ha}$$

45,6 kg de urea/ha son necesarios aplicar al suelo para producir 3 t de trigo/ha

Cálculo del fertilizante fosforado.

Los fertilizantes fosforados que se agreguen al suelo tienen un comportamiento diferente, el 50% será móvil, aunque algunos autores mencionan que el 20% es móvil. Entonces si en el suelo hay un déficit de 8,95 kg de P, la cantidad a incorporar al suelo tomando en cuenta un 50% de efectividad será:

$$P = (8,95/0,5) = 17,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de P}$$

que se debe adicionar al suelo

Para el caso del Fósforo y Potasio los fertilizantes vienen en forma de P₂O₅ y K₂O ó P y K. Por lo tanto, primero debemos realizar ciertas conversiones según el tipo de fertilizante comercial que hubiese en el mercado.

Para convertir P en P₂O₅ multiplicar por 2,2914
 Para convertir P₂O₅ en P multiplicar por 0,4364
 Para convertir K en K₂O multiplicar por 1,2046
 Para convertir K₂O en K multiplicar por 0,8301

La fuente a emplearse será la Fosfato Monoamónico MAP (11-52-0) (N-P₂O₅-K₂O), por lo tanto la cantidad de MAP necesaria por hectárea será:

Conversión de P a P₂O₅:

$P_2O_5 = (17,9 \times 2,2914) = 41,0 \text{ kg ha}^{-1}$
de P₂O₅ que se debe adicionar al suelo.

$\text{Kg MAP/ha} = 41,0 \times (100/52) = 78,8 \text{ kg MAP/ha}$

78,8 kg de MAP/ha son necesarios aplicar al suelo para producir 3 t de soya/ha

Determinación del Azufre y Potasio

La muestra de suelo fue recolectada a 0,2 m de profundidad, la textura es FL (Franco Limoso); el resultado se multiplica por 2,7 que es un factor de peso de una hectárea de suelo y está en función a la altura del muestreo y la densidad aparente.

Nutriente	mg kg ⁻¹ = ppm
S	3,46
Elemento (kg/ha) = (mg/kg ó ppm) elemento x 2,7 Para suelos de textura mediana	
S = 3,46 x 2,7 = 9,34 kg ha⁻¹ de S El suelo tiene 9,34 kg de S/ha para dar al cultivo de soya	

Tabla 7.- Azufre disponible en el suelo en función del análisis químico.

Nutriente	mg kg ⁻¹ = ppm
K	0,15
Elemento (kg/ha) = ((cmolc/kg) elemento x d ap x Prof muestra cm x PA elemento X 10) / 10 d ap = densidad aparente, PA = peso atómico, Prof = profundidad Para suelos de textura mediana	
K = (0,15 x 1,35 x 20 x 391) / 10 = 158,35 kg ha⁻¹ de K El suelo tiene 158,35 kg de K/ha de los cuales el 40 al 50% están disponibles para dar al cultivo de soya; datos obtenidos en nuestros ensayos de curva de calibración	

Tabla 8.- Potasio disponible en el suelo en función del análisis químico.

Lo que falta es saber si es suficiente ó hay necesidad de agregar fertilizante al suelo. Esto se determina con los cálculos de requerimientos nutricionales y el rendimiento que se desea obtener en el cultivo de soya.

Determinar la dosis del fertilizante

El objetivo de este punto es determinar mediante cálculos las dosis de fertilizantes por hectárea que se requiere aplicar al suelo para obtener un determinado rendimiento de un cultivo.

Como ejemplo ilustrativo; para la producción de 4000 kg ha⁻¹ de grano de Soya, según la tabla 4, el suelo debe proporcionar no menos de 3,0 kg de S para obtener t/ha. de grano y no menos de 24,91 kg de K para obtener 1 t/ha de grano de soya.

Cálculos para obtener rendimientos de 4 t/ha de soya:

Requerimiento total de Azufre

$$S = 3,0 \times 4,0 = 12,0 \text{ kg ha}^{-1} S$$

El cultivo necesita 12,0 kg de S/ha para producir 4 t/ha de soya

Azufre que falta aplicar al suelo

$$S = 12,0 - 9,34 = 2,66 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de S}$$

Requerimiento total de Potasio

$$K = 24,91 \times 4,0 = 99,64 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

El cultivo necesita 99,64 kg de K/ha para producir 4 t/ha de soya

Potasio que falta aplicar al suelo

$$K = 99,64 - (158,35 \times 0,5) = 20,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}$$

El suelo necesita que se aplique 20,46 kg de K/ha para producir 4 t/ha de soya

Cálculo del fertilizante azufrado.

Los fertilizantes adicionados al suelo tienen diferente comportamiento, para el caso del S el 50% aplicado al suelo, estará disponible para las plantas y el resto será retenido por actividad biológica, los coloides del suelo o materia orgánica. Entonces si en el suelo hay un déficit de 2,66 kg de S/ha, la cantidad a incorporar al suelo será:

$$S = (2,66/0,5) = 5,32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de S}$$

que se debe adicionar al suelo.



La fuente del fertilizante a emplearse será el Sulfato de Amonio (21-0-0-24S) (N-P₂O₅-K₂O-S), por lo tanto la cantidad de urea necesaria por hectárea es:

$\text{Kg Sulfato de amonio/ha} = 5,32 \times (100/24) = 22,16 \text{ kg Sulfato de amonio/ha}$
son necesarios aplicar al suelo para producir 4 t/ha de soya

Cálculo del fertilizante potásico.

Los fertilizantes potásico que se agreguen al suelo tienen un comportamiento diferente, solo el 60% será móvil, aunque algunos autores mencionan que el 80% es móvil. Entonces si en el suelo hay un déficit de 20,46 kg de KCl, la cantidad a incorporar al suelo tomando en cuenta un 60% de efectividad será:

$P = (20,46 + 20,46/0,4) = 28,64 \text{ kg ha}^{-1}$ de K que se debe adicionar al suelo

Para el caso del Potasio los fertilizantes vienen en forma de K₂O ó K. Por lo tanto primero debemos realizar ciertas conversiones según el tipo de fertilizante comercial hubiese en el mercado.

Para convertir K en K₂O multiplicar por 1,2046
Para convertir K₂O en K multiplicar por 0,8301

La fuente a emplearse será el Cloruro de Potasio (0-0-60) (N-P₂O₅-K₂O), por lo tanto la cantidad de Cloruro de Potasio necesaria/ha es;

Conversión de K a K₂O:

$\text{K}_2\text{O} = (28,64 \times 1,2046) = 34,49 \text{ kg ha}^{-1}$ de K₂O que se debe adicionar al suelo.

$\text{Kg MAP/ha} = 34,49 \times (100/60) = 57,5 \text{ kg}$

Cloruro de Potasio/ha

que son necesarios aplicar al suelo para producir 4 t/ha de soya

Con estos resultados el productor puede planificar la fertilización en base a dosis, momentos y maquinarias que posee. Cada cultivo en cada zona agrícola tiene diferentes estrategias y métodos de fertilización. La más adecuada decisión le dará mejores respuestas en los rendimientos de los cultivos.

La fertilización es una práctica que cada día toma más fuerza en nuestro país, asociada al manejo de suelos buscan maximizar la inversión de los insumos agrícolas, si consideramos el elevado costo de aplicar fertilizante al suelo, el productor debe tomar conciencia de la inversión que signifi-

ca fertilizar, por ello se debe consultar con un Ingeniero Agrónomo o Técnico Especializado de su zona para realizar las mejores prácticas de fertilización de suelos y cultivos. De esta manera llevar un programa de fertilización eficiente, eficaz, efectivo y económicamente rentable para que la actividad agrícola en su predio o propiedad pueda ser sustentable y sostenible.

📖 Bibliografía

- Manual de laboratorios: Suelo, Agua, Nutrición de Animales y Alimentos (2005) EMBRAPA San Carlos, SP Editores: Ana Rita de Araujo Nogueira, Gilberto Batista de Souza.
- Muestreo de suelos para evaluación de salinidad y fertilidad (2002). INTA San Juan, Argentina. Autor: Pedro Gil.
- Muestra de suelos (1995) CETABOL-JICA Warnes, Bolivia Autores: Dra. Kiyoko Hitsuda: Ing. Abdón Siles L.
- Técnicas esenciales para un buen muestreo de suelo CIAT Santa Cruz, Bolivia. Laboratorio de Suelos, Agua y Planta. Boletín informativo. SoilQualityInstitute, USDA (1998).
- Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Traducido por; CRN – CNIA - INTA, ARGENTINA, Julio 2000.
- Editores: Jhon Doran. El diagnóstico nutricional en el análisis de hoja 28/02/2007: Laboratorio de Análisis Plantas análisis foliares CSR Boletín informativo. Julián Ciudad Gutiérrez. <http://www.agriculturadeprecision.org/mansit/Protocolo-Dosificacion-Variable-Insumos-Cultivo-Maiz.htm>

