

Secretos de un Suelo Sano 49

Los Análisis de Suelo en Caña de Azúcar

INFORMACIÓN GENERAL

Número Especial

1. Introducción: El Ecosistema Agrícola
2. Análisis Físicos de Suelo
3. Análisis Químicos de Suelo
4. Nutrientes Minerales

Cuidar el suelo es cuidar la vida



LABORATORIOS A-L DE MÉXICO S.A. DE C.V.
44550 Guadalajara. T. 33 3123 1823 y 33 3121 7925. WhatsApp 33 2803 960
www.laboratoriosaldemexico.com.mx. Más informes : kcalderon@allabs.com.

INDICE DE LA PRESENTACIÓN

1. INTRODUCCIÓN: EL ECOSISTEMA AGRÍCOLA

2. ANÁLISIS FÍSICOS DEL SUELO

2.1 Textura.

2.2. Densidad Aparente.

2.3. Sales Solubles.

3.1. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO

3.2. pH del suelo.

3.3. Encalado de suelos ácidos .

3.4. Materia orgánica (MO).

3.5. Capacidad de Intercambio Catiónico.

3.6. Porcentaje de Saturación de Bases.

4. NUTRIENTES MINERALES

4.1 Tipos de elementos minerales.

4.2 Funciones de los nutrientes minerales.

4.2.1 Macronutrientes N,P,K.

4.2.2 Nutrientes Secundarios Ca, Mg, S.

4.2.3 Micronutrientes B, Cu, Mn, Fe, Mo, Zn.

1. Introducción: el ecosistema agrícola.

Un típico ecosistema terrestre está constituido por un ambiente físico y una biomasa que se influyen mutuamente. El ambiente físico está formado por el clima, la atmósfera, la litosfera y el agua. La biomasa está sustancialmente formada por (a) las plantas cultivadas, (b) la fauna del suelo, como insectos, lombrices, nemátodos, es muy importante para desmenuzar la materia orgánica haciéndola más accesible a los microorganismos y más sensible a su acción enzimática; y (c) La microflora del suelo, como las bacterias, hongos, algas y líquenes. Las bacterias representan el grupo más importante en los terrenos agrícolas, ya que destruyen la materia orgánica liberando energía y sustancias minerales.

La intervención de una suficiente presencia de varios microorganismos fito-benéficos en los agroecosistemas, es importante en el control de parámetros tales como la estructura del terreno (génesis y degradación del suelo); en los ciclos del nitrógeno y del azufre (mineralización de azufre orgánico, inmovilización de azufre mineral, oxidación y reducción de los compuestos del azufre); en las transformaciones del fósforo (solubilización microbiana de los fosfatos, inmovilización microbiana del fósforo mineral, mineralización microbiana del fósforo orgánico); en las transformaciones del hierro, del potasio y del manganeso.

La producción agrícola altera siempre el equilibrio preexistente. Al establecer un nuevo cultivo se origina un agroecosistema que, aunque se cultive la misma planta del ciclo anterior, podrá tener un comportamiento diferente. En cada nuevo ciclo, el agroecosistema puede diferir respecto a los anteriores en función del clima, de la fertilización y enmiendas, de posibles plagas, de la actividad y decisiones de los productores, etc.

2. Análisis Físicos del Suelo.

2.1 Textura.

Utilizando el método de Bouyoucos se establece la cantidad de arena, limo y arcilla que componen un predio determinado. Con ello se define el parámetro denominado la “*Textura del suelo*”.

Cuadro N.º 2.1
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN BASE AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS.

Fracción	(mm)
Arena muy gruesa	2.00- 1.00
Arena gruesa	1.00- 0.50
Arena media	0.50 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.10
Arena muy fina	0.10 - 0.05
Limo	0.05 - 0.002
Arcilla	< 0.002

La textura y estructura del suelo influyen en la cantidad de aire y agua que puede proveerse a las plantas en crecimiento. El tamaño de partícula es importante porque las partículas de arcilla más pequeñas están más apretadas que las partículas grandes de arena. Esto significa menos poros para el aire y el agua. Sin embargo, las partículas pequeñas (como la arcilla fina) tienen áreas superficiales muy grandes. Una arcilla fina tiene cerca de 10 mil veces más superficie que el mismo peso de una arena de tamaño medio. A medida que aumenta el área superficial, aumenta la cantidad de agua adsorbida (o retenida). Las arenas retienen poca agua porque sus grandes espacios porosos permiten que el agua drene libremente en el suelo. En cambio, las arcillas adsorben una cantidad relativamente grande de agua, y sus pequeños espacios de poros la retienen contra las fuerzas gravitacionales. En resumen, los suelos arcillosos (y aquellos que son ricos en materia orgánica) retienen el agua con más fuerza que los suelos arenosos. Es decir, el agua disponible varía con la textura del suelo, pero no existe una relación constante entre la textura del suelo y el agua disponible, pues los suelos de textura fina (arcillas) se compactan fácilmente, reduciendo el espacio de los poros y limitando el movimiento del aire y del agua.

NOTA: Los símbolos utilizados para establecer la textura, (Norma Oficial Mexicana 021) son los siguientes:

R = Arcillosa; Rl = Arcillo limosa; Ra = Arcillo arenosa; Cr= Franco arcillosa; Crl = Franco arcillo limosa; Cra = Franco arcillo arenosa; C = Francosas; Cl = Franco limosa; L = Limosa; Ca = Franco arenosa; Ac = Areno francosa, A = Arenosa.

2.2 Densidad Aparente.

La densidad es un indicador de la porosidad del suelo, (Peso por volumen del suelo). Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real varía con la proporción de elementos que constituyen el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica, sea un suelo compacto o bien un alto contenido de partículas como la arena. Un valor bajo no necesariamente indica un ambiente favorable para las plantas. El resto de las condicionantes para obtener un suelo saludable, son procesos agronómicos en campo.

Cuadro N.º 2.2

RELACIÓN ENTRE DENSIDAD APARENTE, % DE SÓLIDOS, Y % DE VOLUMEN DE POROS.							
Densidad aparente en g/ cm ³	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
El Porcentaje de sólidos	38	42	45	49	53	57	60
Volumen de poros en %	62	58	55	51	47	43	40

Método: NOM – 021-2000

2.3. Sales solubles.

Las sales solubles que contiene el suelo se forman a consecuencia de mezclas entre elementos químicos, principalmente: Oxígeno (O), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Cloro (Cl), Azufre (S), Carbono (C) y Nitrógeno (N). Todos estos elementos están muy presentes en la corteza de la tierra, permitiendo un aumento del potencial osmótico del agua del suelo. La solubilidad de las sales varía según su composición química, y según el contacto que tiene con otros elementos de la tierra y el estado físico en el que se encuentra. Mientras más soluble sea una sal más presente estará en la solución del suelo. Generalmente

las sales más solubles son los cloruros y nitratos, y, por otra parte, los menos solubles comúnmente son los carbonatos y los sulfatos. Lo más común es que los cloruros y los sulfatos de calcio y de magnesio predominen en los suelos salinos, mientras que en los suelos sódicos predominen los bicarbonatos y carbonatos de sodio. Su presencia define el *grado de salinidad* o de *sodicidad* del suelo.

2.4. Conductividad Eléctrica (CE).

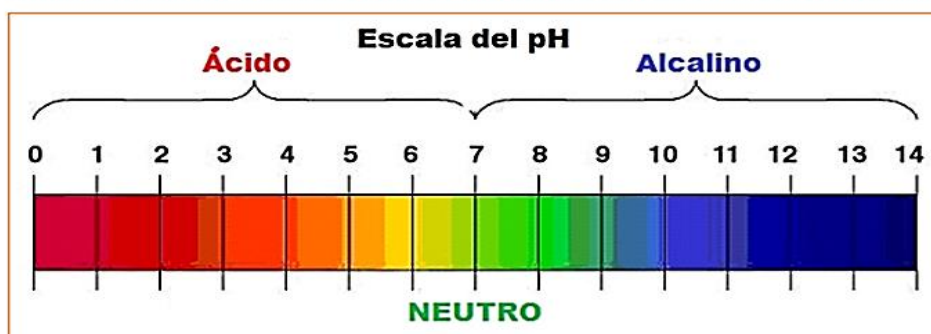
Las sales presentes en el suelo reducen el potencial osmótico de la solución del suelo, disminuyendo por consiguiente la disponibilidad de agua para las plantas, aun cuando el suelo muestre niveles razonables de humedad. El grado de salinidad se mide mediante la conductividad eléctrica, que es la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica. La conductividad eléctrica es la inversa de la resistividad; su valor es más alto cuanto más fácil se mueva la dicha corriente eléctrica gracias a una concentración más elevada de sales. A mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. La unidad utilizada para establecer el nivel de Conductividad Eléctrica es el deciSiemens por metro (dS/m). Esta medida es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm.

3. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO.

3.1. pH del suelo.

El término pH define la acidez o alcalinidad relativa de una sustancia. La escala de pH cubre un rango de cero a 14. Un valor de pH de 7.0 es neutro. Valores por debajo de 7.0 son ácidos. Aquellos valores arriba de 7.0 se denominan básicos. Un ácido es una sustancia que libera iones de hidrógeno (H^+). Cuando un suelo está saturado con iones H^+ , este suelo se comporta como un ácido débil. Cuantos más iones H^+ están presentes en el complejo de intercambio, mayor es la acidez del suelo.

Cuadro N° 3.1
GRADOS DE ACIDEZ Y BASICIDAD ENCONTRADOS EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS



INTERPRETACIÓN DE LOS VALORES DEL pH EN SUELO

pH	CALIFICACIÓN	COMENTARIO
Menor de 4.5	Muy fuertemente ácido	Muy ácido para la mayoría de los cultivos
4.5 - 5.2	Fuertemente ácido	Muy ácido para muchos cultivos
5.3 - 6.0	Medianamente ácido	Muy ácido para algunos cultivos
6.1 - 6.9	Ligeramente ácido	Óptimo para la mayoría de los cultivos
7.0	Neutral	Óptimo para la mayoría de los cultivos
7.1 - 7.5	Ligeramente alcalino	Óptimo para la mayoría de los cultivos
7.6 - 8.2	Medianamente alcalino	Muy alcalino para la mayoría de los cultivos.
8.3 - 9.0	Fuertemente alcalino	Muy alcalino para la mayoría de los cultivos.
9.1 y mayor	Excesivamente alcalino	Demasiado alcalino para la mayor parte.

3.2. Encalado de suelos ácidos.

Un suelo ácido, es aquel que arroja un pH con un valor inferior a 5,5 durante la mayor parte del año. Los suelos tropicales viejos (oxisoles y ultisoles) son naturalmente ácidos y los suelos derivados de otros materiales parentales pueden volverse ácidos después de periodos largos de uso intenso. En cualquier caso, es necesario controlar la acidez, pues estos niveles de pH se con un número de toxicidades (Aluminio), deficiencias (Molibdeno) y otras condiciones dañinas para los cultivos. Los materiales más usuales para el encalado son la cal agrícola o calcita, la cal dolomita, el óxido de magnesio, e inclusive el óxido de calcio o las arcillas calcáreas. El laboratorio A-L recomienda el uso de cal agrícola de primera calidad, con un valor Total de Neutralización (VTN) o equivalente de CaCO_3 , de 90 % o más y una finura de 40 % malla 100. Un suelo con un pH de 6,0 tiene 10 veces más actividad de H^+ que uno con un pH de 7.0 , por ello, la cantidad de cal agrícola aumenta rápidamente conforme va descendiendo el valor del pH. En el reporte al productor se indican las toneladas de cal agrícola que se deben aplicar, según el pH que se haya encontrado.

3.3. Materia orgánica (MO).

La materia orgánica es un componente muy valioso para el suelo, ya que contribuye a sustentar el crecimiento y desarrollo de los cultivos ya que está formada por materia inerte y energía. La MO tiene su origen en la descomposición de los restos de animales, de plantas, de sus residuos y rastrojos que, a su vez, están hechos de compuestos tales como carbohidratos, ligninas y proteínas. La materia orgánica del suelo se define también como el conjunto de células animales y vegetales descompuestas -total o parcialmente - en dióxido de carbono y humus mediante la acción de diversos microorganismos. Existe una relación estrecha entre el contenido de la materia orgánica y el rendimiento del cultivo. En los contenidos de MO del suelo inciden varios factores, entre ellos: la cantidad y tipo de microorganismos presentes, el tipo de suelo, la temperatura promedio, el relieve del terreno , el régimen de lluvias, etc, todos ellos influyen en el rendimiento del cultivo.

Cuadro 3.2
RANGOS DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELO

Muy Bajo	Bajo	Medio	Adecuado	Alto
0 – 1.7	1.8 – 3.6	3.7 – 5.9	6.0 – 8.5	> 8.6

Método LOI. (Lost on Ignition). NOM 021.

La presencia de suficiente materia orgánica en el suelo es pues indispensable porque mejora la estructura y el drenaje del suelo, calienta la tierra para mejorar el desarrollo de las raíces (actuando como abono), reduce los efectos de la erosión y mejora el aprovechamiento del agua, entre otros.

3.4. Capacidad de Intercambio Catiónico.

Los cationes retenidos por los suelos pueden ser sustituidos por otros cationes, propiedad que los hace “*intercambiables*”. El Ca^{++} , por ejemplo, puede ser intercambiado, por H^+ y/o K^+ y viceversa. El número total de cationes intercambiables que puede retener un suelo (la

cantidad de su carga negativa) se denomina su *Capacidad de intercambio Catiónico*, o *CIC*. Cuanto mayor es la CIC de un suelo, son más los cationes que puede retener. Los suelos difieren en su capacidad para retener K^+ intercambiables y otros cationes. La CIC depende de las cantidades y tipos de arcilla y materia orgánica presentes. Un suelo alto en arcilla puede contener más cationes intercambiables que un suelo bajo en arcilla. La CIC aumenta a medida que aumenta la materia orgánica.



La CIC de un suelo se expresa en términos de miligramos equivalentes por 100 gramos de suelo y se escribe como meq /100g. Los minerales de arcilla por lo general van de 10 a 150 meq /100g en valores de CIC. La materia orgánica varía desde 200 hasta 400 meq /100g. Así, el tipo y la cantidad de arcilla y de materia orgánica influyen en gran medida en la CIC de los suelos. Cuando los suelos están muy húmedos (lodos...) y los niveles de materia orgánica son bajos, los valores de CIC son usualmente bajos. Con suelos menos húmedos y niveles de materia orgánica más altos, los valores de la CIC pueden también ser muy altos. Los suelos arcillosos con alta CIC pueden retener grandes cantidades de cationes contra posibles pérdidas por lixiviación. Los suelos arenosos, con baja CIC, retienen cantidades menores. Un considerable exceso de sales solubles puede significar enanismo del cultivo, marchitez o necrosis. Esto significa que la planificación de la época y del volumen de aplicación de fertilizantes, que aportan sales, sea una variable importante.

3.5. Porcentaje de Saturación de Bases.

El porcentaje de la CIC total que corresponde a los principales cationes intercambiables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) se ha utilizado en el pasado para desarrollar programas de fertilización. La idea es que se necesitan ciertas proporciones de nutrientes o "balances" para asegurar la absorción adecuada por el cultivo a fin de obtener rendimientos óptimos. La investigación ha demostrado, sin embargo, que los rangos y las proporciones de saturación de cationes tienen poca o ninguna utilidad en una gran mayoría de suelos agrícolas. En condiciones de campo, los rangos de nutrientes pueden variar ampliamente sin efectos perjudiciales, siempre y cuando los nutrientes individuales que están presentes en el suelo tengan los niveles suficientes para apoyar el crecimiento óptimo de las plantas. En resumen: los coloides, las partículas más finas del suelo, tienen una gran densidad de cargas negativas (-) que atraen y retienen iones de carga positiva (+) denominados "cationes".

Cuadro N.º 3.4.1. Saturación de Bases

RANGOS ÓPTIMOS PARA CADA CATIÓN DEL SUELO.				
% Potasio	% Calcio	% Magnesio	% Hidrógeno	% Sodio
5 – 7	10 - 20	50 - 70	< 20	< 9

Nota: algunas instituciones proponen para el Sodio un Rango < 12

Ejemplo de Reporte del Análisis de Suelo en cultivo de Caña de Azúcar.

Determinaciones	Método	Resultados	CALIFICACION					Capacidad Int.catiónica
			Muy Bajo	Bajo	Medio	Optimo	Muy Alto	
pH Suelo	pH1:1	6.7						16.4 meq/100g
Índice de Encalado								Saturación Catiónica
Materia orgánica	Comb.	2.2 % ENL 71						%sat meq
Fósforo (P)	M3	40 ppm						K 1.0 0.2
Potasio (K)	M3	66 ppm						Ca 71.7 11.8
Calcio (Ca)	M3	2352 ppm						Mg 22.0 3.6
Magnesio (Mg)	M3	432 ppm						H 4.3 0.7
Azufre (S-SO ₄)	M3	14 ppm						Na 1.2 0.2
Boro (B)	M3	0.7 ppm						K/Mg: 0.04
Cobre (Cu)	M3	8.0 ppm						Ca/Mg: 3.26
Hierro (Fe)	M3	164 ppm						Textura
Manganeso (Mn)	M3	111 ppm						%Arena %Limo %Arcilla
Zinc (Zn)	M3	2.9 ppm						23 27 50
Sodio (Na)	M3	47 ppm						Clasificación de la Textura
Conductividad	SS1:2	0.05 dS/m						Arcilloso
Nitrógeno-Nitrato								Análisis de Densidad
								Aparente: 1.26 g/cm ³

RECOMENDACIÓN

Cultivo: Caña de Azúcar-Planta

Meta de Rendimiento: 90 T/Ha

Rec Unidad: KG/Ha

Yeso	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
0	144a178	30	170	0	35	1.2	0	2	2.0	0
Cultivo:					Rec Unidad:					
Yeso	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe

Comentarios :

Caña de Azúcar-Planta

· Los rangos óptimos para los % de Saturación de Cationes son: %K (5 a 7); %Ca (70 a 80); %Mg (10 a 20); %H (<20); y %Na (<9) . El símbolo "<" significa menor a.

La relación K/Mg se considera óptima entre 0.25 y 0.50. Menor a 0.25 es baja y mayor de 0.50 es alta.

La relación Ca/Mg se considera óptima entre 6 y 7.5. Menor a 6 es baja y mayor de 7.5 es alta.

· En caña de azúcar es más eficiente el fertilizante cuando se aplica en banda que cuando se aplica al voleo.

La cantidad de fertilizante recomendada en este reporte debe usarse como guía para el manejo de nutrientes. Para mayor precisión y eficiencia de los nutrientes, debe implementarse el monitoreo nutricional por medio de los análisis foliares. Consulte el laboratorio para las épocas y métodos de muestreo.

Recomendación adicional: Incrementar el contenido de materia orgánica.

4. NUTRIENTES MINERALES.

Recordatorio sobre los procesos de nutrición en las plantas:

Tres elementos esenciales, carbono, hidrógeno y oxígeno, son obtenidos por la planta, en forma mayoritaria, a través del aire y del agua. Los demás elementos nutrientes minerales son absorbidos a través de las raíces. La agrupación de los minerales en 3 tipos de elementos (macro, secundarios y micro) se basa en las cantidades requeridas por la planta, pero todos son igualmente esenciales. Los procesos de absorción pueden ser los siguientes:

- *La mineralización*, que libera los elementos nutrientes. A continuación, los procesos de óxido-reducción hacen evolucionar los elementos metálicos, sea hacia formas reducidas más solubles, sea hacia formas oxidadas menos solubles.
- *La quelación*, bajo la forma de sustancias producidas por los microorganismos del suelo y que permite el transporte de los microelementos al nivel de la raíz.
- *La formación de complejos*. Según las condiciones del medio y de la descomposición de las materias orgánicas, pueden generarse sea complejos insolubles, sea favorecer la posible descomposición de los microelementos.

4.1. Tipos de elementos minerales:

Los macronutrientes son el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) y el Potasio (K)

Los elementos secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S)

Los microelementos: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), y Níquel (Ni). Nota: estos dos últimos, Mo y Ni, son necesarios en ciertos cultivos.

4.2. Funciones de los nutrientes minerales.

4.2.1. Macroelementos N, P, K.

Nitrógeno (N).

Recordemos que ni los humanos ni los animales pueden absorber directamente el nitrógeno del mineral aire ni tampoco el nitrógeno del aire. Son las plantas, o ciertos microorganismos, los que les proporcionan en forma orgánica el nitrógeno que se necesitan para sintetizar las proteínas. El papel de las proteínas es fundamental en las fases de crecimiento y desarrollo de los organismos vivos, muy importante para obtener un alto rendimiento en el cultivo. El suelo requiere grandes cantidades de este elemento, el cuál es uno de los componentes principales de las proteínas, esencial en la fotosíntesis y en la producción de azúcares. Los cultivos aprovechan el N orgánico de los rastrojos que permanecen o que se añaden al suelo. La masa de nitrógeno contenida en los suelos cultivados, casi exclusivamente orgánico, puede alcanzar de 3 a 5 toneladas por hectárea. Se encuentra principalmente en la capa arada (de aproximadamente 0 a 30 cm de profundidad). En el suelo, el nitrógeno mineral puede presentarse en tres formas: el ion amonio (NH_4^+) o nitrógeno amoniacal, el ion nitrito (NO_2^-) o nitrógeno nitroso y el ion nitrato (NO_3^-), o nitrógeno nítrico. Tanto el nitrato como el amonio son las formas de N que absorben las plantas. La *nitrificación* es el proceso de conversión microbiana de NH_4^+ a NO_3^- . Debido a los cambios continuos en las formas y en la disponibilidad del nitrógeno, las determinaciones de los niveles de N en el suelo tienen un valor limitado para predecir su disponibilidad a corto plazo para las plantas. En el suelo, los cultivos y los microorganismos compiten entre sí por el nitrógeno disponible en el suelo. Los

microorganismos, gracias a su movilidad y a su amplia distribución en los predios, son más eficientes que las plantas para capturar el nitrógeno existente.

Fósforo (P).

El papel del elemento fósforo, esencial para el establecimiento de las estructuras biológicas y del funcionamiento de los procesos metabólicos esenciales para la vida. El contenido de fósforo (P) de los suelos, es la única fuente de fósforo que tienen disponible las plantas. Se encuentra ahí en forma de compuestos orgánicos y minerales. Entre los procesos metabólicos en que participa, están: la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis y la degradación de los carbohidratos. Su presencia es indispensable para un buen crecimiento del área radicular de las plantas, para el desarrollo temprano de brotes y macollaje. Una reducida extensión de los entrenudos es síntoma de un insuficiente suministro de fósforo. El ciclo del fósforo difiere con respecto al del carbono, nitrógeno y azufre en un aspecto muy principal: el fósforo no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme.

Potasio (K).

El potasio ayuda a la fotosíntesis y por eso es importante para crecimiento productivo, desarrollo más fuerte de tallos con menos encamado. Así, igual que el nitrógeno, Potasio también estimula fuerte desarrollo de caña, extendidos entrenudos, mayor circunferencia y rendimiento de la caña. Es importante que nitrógeno y potasio estén equilibrados. Mientras respuestas a N pueden ser pequeñas, el uso de potasio al mismo tiempo que nitrógeno asegura mejores rendimientos de caña de azúcar.

4.2.2. Los nutrientes secundarios.

Calcio (Ca).

El calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) se denominan nutrientes secundarios. Esto no quiere decir que jueguen un papel secundario en el crecimiento vegetal. Son tan importantes en la nutrición de las plantas como los nutrientes primarios, aunque las plantas no suelen requerir tanto de ellos. Muchos cultivos contienen igual cantidad de (S) como de fósforo (P), y a veces más. Las deficiencias en nutrientes secundarios pueden disminuir el crecimiento de las plantas tanto como lo hacen las deficiencias de los macronutrientes.

El calcio, elemento químico de símbolo Ca y número atómico 20, es el más ligero de los metales alcalinotérreos. En agricultura, al igual que el magnesio, se considera su uso no solo como enmienda para mejorar las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo, sino como elemento nutriente indispensable a los vegetales. El Ca representa alrededor del 3.45 % de la masa de la corteza terrestre y se clasifica, por orden de abundancia, en el tercer rango de los metales, después del aluminio y del hierro. Siendo un metal muy reactivo no existe en estado natural. Los principales minerales cálcicos están constituidos de carbonatos simples (calcita y dragonita), bajo formas calcáreas (mármol) de carbonatos dobles (dolomita) de sulfatos hidratados (yeso) o no, de feldespatos y de fosfatos que en ocasiones contienen flúor (Apatitas). Los carbonatos constituyen una de las más importantes formas de almacenamiento del dióxido de carbono producido en la biosfera.

La presencia de calcio es indispensable en el desarrollo vegetal. El calcio del suelo tiene múltiples funciones, positivas y negativas, de gran interés agronómico. Entre los efectos favorables, podemos mencionar: (i) la acción floculante de los iones calcio, indispensable para una buena estructura del suelo; (ii) su papel de intercambio al nivel de interfase de los coloides minerales, permitiendo crear reservas de elementos nutrientes; (iii) sus efectos como base, es decir el aumento del pH y de la CIC del suelo. Entre los efectos desfavorables de un exceso de calcio, está la insolubilización de los fosfatos aportados al suelo y el eventual bloqueo de los micronutrientes. Las precipitaciones de calcita pueden, en ocasiones, perturbar el funcionamiento de las raíces y disminuir la velocidad de mineralización de la materia orgánica.

El calcio es poco móvil en la planta. Por lo general se fija en las paredes celulares ayudando a su consolidación (60 % del calcio absorbido). El resto interviene en la regulación osmótica, los agentes antitóxicos o las coenzimas. En las hojas, principalmente en las más maduras, tiene una presencia equivalente al potasio. La necesidad de calcio en las plantas es primordial, aunque las absorciones realizadas son relativamente pequeñas en relación con las cantidades presentes bajo la forma intercambiable en el suelo. Todos estos aspectos se analizarán más detalladamente en los incisos siguientes.

Magnesio (Mg).

De número atómico 12, el magnesio es el más ligero de los elementos metálicos. Su presencia es fundamental para la fotosíntesis. El magnesio tiene un papel crucial en la formación de carbohidratos, grasas y vitaminas; activa la formación de la cadena de 'polipéptidos' en los aminoácidos y auxilia en numerosas funciones bioquímicas y fisiológicas, incluyendo el transporte de fosfatos. El magnesio es esencial en muchas reacciones de las células vegetales; como activador de diversas enzimas y como componente estructural en ribosomas, entre otras funciones. El magnesio lo absorben las plantas de la solución del suelo en forma del catión divalente Mg^{++} . Al igual que el calcio (Ca^{++}), el Mg llega a las raíces de las plantas por difusión y flujo masivo. La cantidad de magnesio absorbida por las plantas es usualmente menor que las cantidades de calcio o potasio.

El contenido de Mg de las plantas varía no sólo con especies y variedades, sino también en las diferentes edades de la misma planta. Las leguminosas suelen contener más Mg que los pastos. Los cultivos de semillas oleaginosas por lo general contienen más Mg que los granos. El algodón y el girasol, por ejemplo, suelen contener más Mg que el maíz. El promedio de valor crítico de concentración de Mg para el normal crecimiento de los cultivos es 0.15 - 0.20 % en base seca.

El magnesio es muy móvil, aunque su movimiento dentro de la planta también se ve afectado por los demás iones. El potasio puede obstaculizar al magnesio, no sólo en cuanto a la implantación en el contacto suelo-raíz, sino también dentro de las células en el nivel de la enzima. La forma en que esté el nitrógeno en el enraizado también tiene influencia sobre la absorción y distribución de Mg. El amonio (NH_4^+) puede reducir el contenido de Mg en las plantas. El anión NO_3^- , por el contrario, puede estimular la absorción de Mg. Por lo que una fuente de N que contiene nitratos es preferible para favorecer la absorción del elemento magnesio.

Azufre (S).

El azufre (S) se considera que, dentro de la corteza terrestre, está en la 13ava posición por orden de abundancia. Al mismo tiempo, el azufre es uno de los más relevantes elementos requeridos por todas las plantas para su crecimiento y desarrollo. Se considera casi tan esencial como los tres nutrientes principales, N, P y K. Algunos autores denominan al azufre como el cuarto elemento nutriente en orden de importancia.

La presencia o ausencia de azufre puede afectar la acumulación de nitrógeno inorgánico u orgánico no proteico en el tejido vegetal, en el área foliar, en el número de semillas por planta y en la iniciación floral. El azufre influye también en la tasa de crecimiento de la planta, en el desarrollo de las raíces, el contenido de proteínas vegetales, en la clorofila y en la fijación fotosintética de dióxido de carbono. La falta de azufre en el entorno de la planta disminuye fuertemente la eficiencia del nitrógeno.

La intensificación de la agricultura, el uso de mejores variedades, la aplicación de fertilizantes libres de azufre, el control de la contaminación ambiental, menor uso de estiércoles y la introducción de insecticidas y fungicidas que reemplazan los polvos de azufre, son factores que han agravado el problema de la deficiencia de azufre. La aplicación al suelo de materiales orgánicos es una buena opción para elevar las reservas de azufre en el suelo, así como mantener niveles adecuados de vida microbiana en el suelo. Donde esto no sea posible se buscará utilizar mejoradores y fertilizantes que suministren azufre.

En el tejido de las plantas la relación nitrógeno a azufre (Relación N/S) también constituye un indicador de las necesidades de este elemento. Un incremento de compuestos nitrogenados no proteicos o de nitratos en los tejidos de las plantas, pueden ser indicio de una deficiencia de azufre. Esta deficiencia reduce la actividad de la enzima nitrato-reductasa en las plantas.

4.2.3. Los micronutrientes.

Boro (B).

Este nutriente no es móvil en la planta y, como el calcio, está sujeto a períodos de deficiencia cuando la disponibilidad de agua es limitada y por consiguiente se restringe el movimiento del agua dentro de la planta. Usualmente los síntomas de deficiencia de boro aparecen en los nuevos brotes de la planta, aunque dichos síntomas pueden aparecer también en otras partes de la planta debido a la mencionada falta de movilidad del boro.

El análisis foliar, como parte de una evaluación programada con cierta regularidad, es el mejor método para monitorear la situación del boro. Para las pruebas foliares de boro es preferible seleccionar los nuevos brotes y las hojas jóvenes. La disponibilidad de boro disminuye en los suelos de textura fina y con arcillas pesadas y altos niveles de pH. Estos suelos de textura fina con un pH alto que han sido sobre encalados, es muy posible que tengan una limitada cantidad de boro. Este elemento puede ser lixiviado, principalmente en suelos de textura ligera, ácidos, arenosos y bajos en materia orgánica.

El boro es un nutriente esencial para la germinación de los granos de polen, para el desarrollo de las células de las paredes y el desarrollo de las semillas. Este elemento forma complejos de boratos/azúcares asociados con la translocación de azúcar, siendo también valioso en la formación de proteínas. La deficiencia de boro generalmente inhibe el crecimiento de la planta. La mayoría de las legumbres, frutas y verduras son muy sensibles al boro. En cambio, los granos no lo son tanto. Hay varios factores que tienen influencia en la disponibilidad del boro en el suelo:

- La materia orgánica. Este parámetro representa la más importante fuente de boro proveniente del suelo. En climas secos y cálidos la descomposición de la materia orgánica, que se encuentra mayoritariamente en la superficie, se ralentiza significativamente. Esta lentitud puede generar una deficiencia de boro. En climas fríos la descomposición de la materia orgánica también es lenta, es decir hay una pobre liberación de boro que afecta a los cultivos.

- Condiciones climáticas. Un clima seco restringe la actividad de las raíces en la superficie del suelo pudiendo causar deficiencias temporales de boro. Los síntomas tienden a desaparecer tan pronto la superficie del suelo recibe agua. El crecimiento de las raíces continuo, pero a menudo se reduce el potencial de rendimiento.

- pH del suelo. La mejor disponibilidad de boro para el cultivo se ubica entre pH con valores de 5.0 y 7.0. Con valores más altos de pH, la absorción de boro se reduce. El encalado de suelos ácidos puede disminuir la disponibilidad de boro y mejorarla respuesta de otros fertilizantes.

- La textura del suelo. Los suelos gruesos, arenosos, compuestos en gran medida por cuarzo contienen pocos minerales con boro. Los cultivos en este tipo de suelo por lo general muestra fuertes deficiencias en boro.

- Lixiviado. El boro es móvil en el suelo y por tanto está sujeto a problemas de lixiviado. El lixiviado es frecuente en suelos arenosos y/o en áreas de alta precipitación pluvial.

Es notable que los fertilizantes de boro se apliquen en forma uniforme porque hay un rango muy estrecho entre deficiencia y toxicidad. Los volúmenes de fertilización con boro dependen de varios factores: el análisis del suelo, el contenido de boro en las plantas (análisis foliar), el tipo de cultivo, la rotación de los cultivos, las condiciones climáticas, las prácticas de cultivo y el contenido de materia orgánica.

Cobre (Cu).

Este nutriente usualmente no está deficiente en la mayoría de las condiciones de cultivo. Si se utilizan fungicidas a base de cobre, el cual actúa como protector contra enfermedades. Los cobres tienen un amplio espectro de acción, incluyendo acción bactericida y son muy persistentes en el suelo ya que el ion Cobre no se degrada como sucede con los productos orgánicos. La aplicación de estos fungicidas a base de cobre tiene el riesgo de que interactúen con otros micronutrientes en la planta, creando deficiencias debidas al alto contenido de

cobre. Para el monitoreo de este nutriente conviene establecer un programa de muestreos foliares frecuentes.

El cobre es necesario para la formación de clorofila en las plantas, sirviendo de catalizador para diversas otras reacciones, aunque por lo general no es parte de los productos formados por dichas reacciones. Este elemento tiene una menor disponibilidad conforme aumenta el pH. En suelos altos en materia orgánica, la disponibilidad del Cu se encontrará asociada de forma más estrecha con el contenido de materia orgánica que con el pH. Los suelos ricos en M.O. retienen el Cu fuertemente, disminuyendo su disponibilidad. Por ello, con frecuencia los cultivos responden bien a la aplicación de cobre en suelos con alta materia orgánica.

En suelos orgánicos existe una interdependencia entre cobre y manganeso; los dos elementos son retenidos en forma compleja y similar por la M.O. del suelo. Aplicaciones muy elevadas de cobre pueden dar como resultado una deficiencia de Mn, mientras que la aplicación de excesivo Mn, podría evitar que el Cu forme un complejo, produciéndose una mayor absorción de Cu por las raíces de las plantas.

La deficiencia de cobre en las plantas produce una reducción en la lignificación y en la acumulación de fenoles. Entre los síntomas de carencia de este elemento, está la necrosis del ápice de hojas jóvenes; necrosis que va progresando hasta perder las hojas. También las ramas y los tallos son incapaces de permanecer erguidos y la planta tiene un aspecto marchito generalizado; las hojas se tuercen, se hacen quebradizas y caen. Puede haber clorosis y otros síntomas secundarios, aunque la clorosis no siempre aparece.

De todos los microelementos, el Cobre es el más difícil de diagnosticar debido a la interferencia de otros elementos (P, Fe, Mo, Zn, S, etc.) Las plantaciones de cítricos y frutales, abonadas en exceso con fosfatos, con frecuencia presentan carencias de cobre. En casos de toxicidad (valores superiores en suelo a 300 mg/Kg), las alteraciones se manifiestan en las raíces. También el exceso puede originar deficiencia en hierro.

Manganeso (Mn) y Hierro (Fe).

Estos dos micronutrientes son influenciados en forma muy similar por los factores de cultivo que afectan la bio-disponibilidad. Ambos nutrientes incrementan su disponibilidad conforme el pH del medio se vuelve ácido y son menos disponibles cuando el pH del medio se hace alcalino. Usualmente ninguno de los dos es deficiente a menos que el productor provoque un cambio significativo en el pH del medio, a través de la fertilización o del encalado. Algunos fungicidas (tipo Maneb, cuyo ingrediente activo es un Etilenbis ditiocarbamato de manganeso) al aplicarse a los cultivos, adhieren manganeso a la superficie de las hojas.

Este manganeso adicional puede eventualmente ser absorbido y dar resultados altos de Mn en el análisis foliar, aunque tan solo una parte de este elemento esté dentro del esquema metabólico celular de la planta y el resto en su superficie de las hojas. Los cultivos que contienen Manganeso y Hierro deben monitorearse frecuentemente mediante análisis foliares para asegurarse que ninguno de ellos se aproxime a los niveles tóxicos. Antes de programar la aplicación de estos micronutrientes conviene tener ya establecido un programa periódico de controles foliares.

El manganeso funciona principalmente como parte del sistema enzimático de las plantas. Este elemento activa varias reacciones metabólicas teniendo un papel sobresaliente en la fotosíntesis ayudando a la formación de la clorofila. El manganeso acelera la germinación y la humedad, incrementando la disponibilidad de fósforo (P) y de calcio (Ca).

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más jóvenes donde se producen amarillamientos entre las venas. Las deficiencias de manganeso ocurren con más facilidad en suelos con alta materia orgánica y con pH neutros o alcalinos. Las deficiencias de manganeso pueden ser corregidas en diversas formas:

- Si es la cal la que provoca estas deficiencias, mantenga el pH del suelo debajo de 6.5. Esto se puede lograr disminuyendo la aportación de cal o utilizando materiales que produzcan la acidificación del suelo, incluyendo aquí el azufre elemental, micronizado o no. Tenga en mente que es mucho más sencillo y económico regular la adición de manganeso que tratar de bajar el pH del suelo.

- Mezcle sales solubles de manganeso, tales como el sulfato de manganeso ($MnSO_4$), con los fertilizantes para aplicación en banda. Un fertilizante arrancador con alto fósforo ayuda a movilizar el Mn dentro de la planta. Una deficiencia en la planta puede corregirse rociando, por ejemplo, 10 Kg por hectárea de una solución acuosa.

- En algunos suelos un pH extremadamente ácido puede causar toxicidad de Manganeso al cultivo. El suelo debe tener pH de 5.0 o menos para que se presenten estos problemas de toxicidad de manganeso. Aun así, los niveles tóxicos de MN en las plantas se presentan a partir de pH de 5.8 en las plantas. Un adecuado encalado del suelo resuelve este problema.

El hierro es también, como el manganeso, un catalizador en la formación de clorofila, actuando como transportador de oxígeno. Ayuda también en la formación de ciertas enzimas del sistema de respiración. Las deficiencias de hierro, denominadas clorosis, se muestran como hojas de color verde pálido. Con una clara distinción entre venas verdes y los tejidos amarillos internerval. Al igual que en el manganeso, los síntomas de deficiencia de hierro aparecen primero en las hojas más nuevas en la parte superior de la planta. Una severa deficiencia provoca que la planta completa tenga un color amarillento.

Las deficiencias de hierro pueden ser causadas por un desbalance con otros metales como el Mo, Cu o Mn. Otros factores que pueden desencadenar deficiencias en hierro son:

- Excesivo contenido de fósforo en el suelo
 - Una combinación de alto pH, altos carbonatos, suelos fríos y húmedos.
 - Bajos niveles de materia orgánica en el suelo.
 - Problemas de orden genético en las plantas.
- Molibdeno (Mo).

Este nutriente es esencial para que la planta pueda utilizar el nitrato. El molibdeno se requiere para la síntesis y la actividad del sistema enzimático nitrato-reductasa. Sin la presencia de molibdeno el nitrato de la planta no puede convertirse en el amonio que es necesario para la formación de proteínas. A menudo el molibdeno es un factor limitante en la formación y actividad de la nitrato-reductasa, en cuyo caso el nitrato se acumula en los tejidos. La

deficiencia de molibdeno aparece en las plantas como síntoma de deficiencia de nitrógeno bien como quemaduras marginales en las hojas debidas a la acumulación de nitratos.

El molibdeno se requiere también en el sistema enzimático responsable de la fijación de nitrógeno por algunas bacterias, por ejemplo, rizobium. El pH del sustrato o del suelo tiene efecto en la solubilidad del molibdeno. En suelos ácidos con pH menores a 5.3, el molibdeno no está disponible aun cuando existan niveles apropiados de Mo en el suelo. Sin embargo, no es posible dar por hecho que los suelos con pH de 5.3 o mayores aseguran un suministro adecuado de este nutriente. El molibdeno es uno de los nutrientes que con más frecuencia se encuentran deficientes en suelo. Independientemente de los niveles de pH. El tratamiento de las semillas es posiblemente el método más usual de corregir las deficiencias de molibdeno, ya que se requieren muy pequeñas cantidades de este nutriente. Un contenido excesivo de molibdeno es tóxico, especialmente para los animales herbívoros.

Zinc (Zn).

El zinc es un micronutriente que participa en varias funciones enzimáticas de las plantas. La disponibilidad de zinc en el suelo o en los sustratos se relaciona inversamente al pH de la zona de raíces, disminuyendo al aumentar el pH. La disponibilidad de zinc también se reduce cuando el fósforo (P) alcanza altos niveles de acumulación en la zona de raíces. Los niveles de zinc en el tejido vegetal necesitan monitorearse cuando se aplican altos volúmenes de fósforo en el suelo o en el sustrato de base. Cuando hay un uso intensivo de fungicidas como el Mancozeb, un ditiocarbamato con alto contenido de zinc, este plaguicida puede inducir deficiencias de hierro y de manganeso en el tejido vegetal de las plantas. Estas deficiencias son muy difíciles de corregir. La mejor forma de monitorear los niveles de suficiencia del zinc es, como en los casos anteriores, mediante un programa regular de análisis foliares.

Los suelos de textura fina usualmente contienen más zinc que los suelos arenosos. Sin embargo, el contenido total de zinc en el suelo no indica cuanto elemento está disponible. Hay varios factores que afectan esta disponibilidad:

- pH del suelo. El zinc se vuelve menos disponible cuando aumenta el pH. Algunos suelos encalados arriba de pH 6.0 pueden desarrollar deficiencia de zinc, sobre todo si son suelos arenosos. Las deficiencias no ocurren en todos los suelos con pH alcalinos o cercanos a neutro.

- Suelo con alto fósforo. La deficiencia del zinc puede ocurrir en suelos con alta disponibilidad de fósforo. El pH del suelo complica aún más las interacciones entre el zinc y el fósforo.

- Materia Orgánica del suelo. Una buena parte del zinc puede estar fijado en la fracción orgánica de aquellos suelos que tienen un alto porcentaje de materia orgánica. También puede estar temporalmente inmovilizado en los microorganismos del suelo, especialmente cuando se añaden excrementos a las parcelas. En el extremo opuesto, mucho zinc disponible en suelos minerales está asociado con materia orgánica. Un bajo nivel de materia orgánica en suelos minerales es con frecuencia indicación de una baja disponibilidad de zinc.

- Lixiviación. El zinc es adsorbido por los coloides del suelo. Esto ayuda a dar más resistencia al lixiviado y a permanecer en la superficie del suelo.

-Actividad biológica del suelo. La disponibilidad del zinc se afecta por la presencia de algunos hongos del suelo llamados micorrizas, las cuales forman relaciones simbióticas con las raíces de las plantas. La remoción de la superficie del suelo con objetivos de nivelación puede remover también los hongos Fitobenéficos limitando la capacidad de las plantas para absorber el zinc.

Valoramos la libertad de información. Este artículo es gratuito y puede ser reproducido sin ninguna limitante. Se solicita tan solo mencionar la fuente.



Laboratorios A-L de México

Esmeralda 2847 Col. Verde Valle / Guadalajara, Jalisco 44550
Tel.(33) 3123 1823 / (33) 31 21 79 25 Whatsapp: 33 28 03 79 60
Lunes a Viernes 8am a 4pm. www.laboratoriosaldemexico.com.mx

