

INTERPRETANDO UN ANÁLISIS DE SUELOS.

- Utilice la información disponible del área analizada (Imágenes satelitales, mapas e información del MGAP, datos del predio)**
 - Unidad de suelos, características de los suelos de la unidad
 - Identificación de zonas diferenciadas
 - Riesgo de erosión. Pendiente
 - Capacidad de almacenamiento de agua (profundidad, textura, drenaje interno, pendiente). Hay mapa en página del MGAP
 - Riesgo de encharcamiento (mal drenaje interno, poca pendiente, áreas deprimidas, etc.).
 - Cultivos previos y rendimientos obtenidos
 - Fertilizaciones realizadas y fertilizantes empleados, cantidades, formas de aplicación (al voleo o en líneas)
 - Tome en cuenta observaciones realizadas durante el muestreo**
 - Condición actual del suelo: grado de erosión, condición física, cobertura, compactación superficial subsuperficial, encostramiento, etc
 - Desarrollo del cultivo o la vegetación existente. Indicios de déficit o excesos de algún nutriente
 - Presencia de especies indicadoras
 - pH**, indica posibles problemas de absorción de determinados nutrientes, falta de cationes, presencia de aluminio intercambiable.
 - Materia orgánica**, propiedades físicas del suelo y su capacidad de aportar nutrientes.
 - CIC y saturación en bases**, indica la capacidad del suelo de almacenar y suministrar cationes
 - Contenido absoluto y porcentual de cationes** (Ca, Mg, K y Na)
 - Relación entre nutrientes**
 - Contenido de macronutrientes (N-P-K)**
 - Contenido de micronutrientes (Zn en maíz por ej.)**
- Los puntos de 1 a 7 permiten conocer las características más importantes del suelo, su adecuación para el cultivo o pastura que se quiere realizar, su potencial productivo, sus limitantes más importantes y los factores que puedan afectar la respuesta a la fertilización
 - Los puntos 8 y 9 indican las necesidades de fertilización o posibles déficits que requieran monitoreo (K, Mg, micronutrientes)

Comentado [U1]: En el ámbito académico se recomienda usar "concentración" y no "contenido", ya que contenido pero en el ámbito agronómico "contenido" sería aceptable. Estrictamente "contenido" se debe usar cuando el rango es entre 0 y 100% como contenido de agua.

CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.

Puede ser considerado el indicador más importante de la calidad del suelo.

La materia orgánica del suelo está relacionada con:

- Propiedades físicas del suelo:
 - estructura del suelo (estabilidad de los agregados) y resistencia a la erosión
 - exploración de raíces,
 - aireación del suelo, drenaje,
 - retención de agua (puede retener 20 veces su peso en agua)
- Propiedades químicas del suelo:
 - provee entre el 20 y el 70% de la Capacidad de Intercambio Catiónico.
 - estabiliza el pH (poder buffer)
 - contiene la mayor parte del N del suelo, más del 90% del azufre y entre 30 y 65% del P

- la mayoría de los micronutrientes están asociados a la materia orgánica (B, Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, y Cl)

- La biología:

- Actividad microbiana
- Micro y macrofauna del suelo
- Reciclaje de nutrientes

El análisis más comúnmente realizado determina la cantidad de Carbono orgánico. El contenido de materia orgánica se estima indirectamente.

Para el horizonte superficial de suelos medios y pesados

$$\% \text{ MO} = 1.9 \times \% \text{ Carbono orgánico}$$

Comentado [U2]: Generalmente se asume que la MO tiene 56% de C por lo cual se multiplica por 1/0.56 o sea 1.724 y no 1.9, pero quizás tu sacaste ese número de otra fuente

Valores de referencia de algunos suelos., pero si se asume

Textura	Drenaje	Gran grupo	% de Materia orgánica
Fina a media	Bueno a moderado	Vertisol rúptico	6.5
		Brunosol lúvico	5.3
		Argiudol melánico	4.0
		Planosol melánico	4.2
Gruesa	Bueno y muy bueno	Luvisol	2.2
		Acrisol ródico	1.6

Debido a la erosión y manejo previo, en la mayoría de los suelos, los valores de análisis son menores a los del cuadro.

ACIDEZ O ALCALINIDAD DEL SUELO

El pH es otro indicador muy importante de las características del suelo.

El pH determina:

- La asimilabilidad de muchos nutrientes
 - En suelos ácidos (pH 5.4 o menos) aparecen deficiencias de fósforo, calcio, magnesio y molibdeno y toxicidad por aluminio, manganeso e hidrógeno.
 - En suelos alcalinos (pH superior a 7.5) aparecen deficiencias de potasio, hierro, manganeso. Si hay exceso de sodio aparece deterioro de las condiciones físicas del suelo
- La actividad microbiana
 - Por debajo de pH 5.5 disminuyen las bacterias y los actinomicetos lo que afecta la descomposición de la materia orgánica y la nitrificación
- El desarrollo radicular

pH al agua (relación suelo/agua 1:2.5)

Fuertemente ácido	Menor a 5.0
Moderadamente ácido	5.0 – 5.4
Ligeramente ácido	5.5 – 6.4
Neutro	6.5 – 7.4
Ligeramente alcalino	7.5 – 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	Mayor a 8.4

- A pH 5.3 - 5.4 o menos, por lo general, aparece aluminio intercambiable, que es tóxico.

Determinar su contenido (meq/100 gr de suelo).

Conviene corregir el pH si:

- Hay más de 0.1 meq de Al intercambiable
- el Al intercambiable supera el 10% de la CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico)

Comentado [U3]: 5,2

Comentado [U4]: En suelos sin Al intercambiable y en Argisoles, Brunosoles subeútricos e incluso eútricos con valores de pH menores a 5,8 puede haber respuesta al encalado para cultivos como alfalfa, con objetivos de elevar el pH hasta 6,2.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Y SATURACIÓN EN BASES

La **capacidad de intercambio cationico (CIC)** es la capacidad que tiene un suelo para retener (almacenar) y liberar **iones positivos**, gracias a su contenido en **arcillas y materia orgánica**.

En Uruguay se expresa en meq/100 gr de suelo. Internacionalmente se expresa en centimoles de carga positiva por kg de suelo.

$$1 \text{ cmol/kg} = 1 \text{ meq/100 gr}$$

Equivalencias:

1 meq/100 gr de K	390 ppm
1 meq/100 gr de Ca	200 ppm
1 meq / gr de Mg	120 ppm

Uruguay, valores típicos de CIC

Textura	CIC, meq/100 gr
Franco arenosos	4 a 12
Franco limosos	15 a 25
Franco arcillosos	20 a 40
Arcillosos	30 a 60
Suelos orgánicos	60 a 100

La **CIC medida a pH 7** sirve para realizar comparaciones entre suelos y no mide la CIC real o efectiva, que es la que tiene el suelo a su pH natural.

La **CICE (o CEC)**, **capacidad de intercambio cationico efectiva**, se mide con KCl 1N (cloruro de potasio, 1 normal) e indica con mayor exactitud las condiciones del suelo para raíces y microorganismos. Esto es más importante en **suelos ácidos (norte de Uruguay)** y en suelos orgánicos (donde el humus es la fracción coloidal predominante) y en donde las cargas dependen del pH.

La **saturación de bases** es el porcentaje de la CIC del suelo ocupada por calcio, magnesio, sodio y potasio (Ca, Mg, Na y K). Debería ser superior al 60%.

$$\%SB = [(Ca^2 + Mg^2 + K^+ + Na^+) / CIC] \times 100$$

La diferencia entre 100 y el porcentaje de saturación es el porcentaje de los sitios de intercambio ocupados por Aluminio e Hidrógeno.

El pH del suelo aumenta con el porcentaje de saturación de bases. Suelos con 70% al 80%, generalmente, tienen pH de 6 o más.

Porcentaje de cationes, rangos normales en la CIC

Catión	Porcentaje
Ca = Calcio	65-85%
Mg = Magnesio	6-12%
K = Potasio	2-5%
Na = Sodio	5-20%
Al = Aluminio	<10%
H ⁺ = Hidrógeno	<15%

El pH y el contenido de Ca determinan la eficiencia de fuentes de P (fosforita o fosfatos solubles). Excesos de Ca pueden inducir falta de Fe en algunos cultivos.

- *Más del 10% de sodio hay problemas de salinidad
- *Más de 10% de aluminio o más de 0.1 meq hay toxicidad por aluminio intercambiable

Sodio, magnesio y calcio

Sodio: Más de 10% de la CIC puede indicar problemas de salinidad.

Deficiencias de Mg:

- Bajo contenido total de Mg (ver tablas debajo)
- Mg por debajo del 10% de la CIC
- Relación Ca/Mg: > 10:1 - 15:1 (pueden aparecer en suelos sobre Fray Bentos)
- Relación K/Mg > 0.6:1

Análisis Foliar => Niveles críticos entre 0.15 y 0.30 % de la materia seca. Se necesitan referencias específicas para cada situación

Valores suficientes:

Suelo	Mg meq/100gr	ppm de Mg
Arenoso	0.4 a 2.0	50-200
Orgánico	0.6 a 2.0	75-250
Resto de los suelos	0.8 a 4.0	100-500

*Para pasar de meq a ppm multiplicar por 120

RELACIÓN ENTRE CATIONES

Cuando existen excesos o la relación entre cationes supera ciertos valores, pueden aparecer deficiencias de nutrientes inducidas

Baja CIC	Alta CIC	Posible deficiencia
Ca/Mg >2	Ca/Mg >10	Mg
Mg/K >10	Mg/K >10	K
Mg/K <5	Mg/K <2	Mg

Potasio

Niveles críticos (compilado de varias fuentes)

Se considera el contenido de K a 20 cm de profundidad

Textura del suelo	Nivel crítico
Suelos medios a pesados	0.35 – 0.40 meq/100 gr
Suelos arenosos y francos	0.30 – 0.35 meq/100gr
Suelos arenosos y franco arenosos	0.15 – 0.20 meq/ 100 gr

Tomado de Rabuffetti, A; 2017

CÁLCULO DE LAS DOSIS DE FERTILIZANTE.

FÓSFORO

Se recomienda emplear la aplicación INIA Optifert-P desarrollada por INIA

Hacer clic+aquí en:

[Optifert-P](#)

POTASIO

Equivalente fertilizante

El equivalente por ha depende de la capacidad de fijación del suelo, de la densidad aparente del suelo y de la profundidad considerara, en este caso el cálculo se hizo para una densidad aparente de 1.25 y 20 cm de profundidad.

	kg/ha para aumentar 0.1 meq/ha
K Potasio elemento	97,5
K ₂ O Óxido de potasio	117
KCl Cloruro de potasio	195

Estos valores de equivalente fertilizante son orientativos y no toman en cuenta pérdidas por lavado y/o fijación. Las determinaciones hechas en Uruguay dan valores un 50% más altos y de una gran variabilidad.

NITROGENO

Índices de disponibilidad:

- MO: no hay criterios objetivos de recomendación
- N mineralizable previo a la siembra
- % N en hoja

- NO₃

Equivalencia, los pueden venir expresados como NO₃

- ppm de NO₃ = ppm N- NO₃ x 4.43

Nivel crítico nitratos

Cultivo	ppm N-NO ₃ a Z22 (macollaje temprano)
Trigo	14
Cebada	12

Cultivo	ppm N-NO ₃ en V-6 (punto de crecimiento a 15-30 cm del suelo)
Maíz	18 - 25
Sorgo	16 - 22

Equivalente fertilizante

Para elevar 1 ppm se requieren 2.5 kg/ha de N (el único factor a tomar en cuenta es el peso del suelo = volumen x densidad aparente).

Debido a las pérdidas, la eficiencia de uso del N es del 50-75%, lo más usado para los cálculos es una eficiencia del 60%.

Se precisan de 3.4 a 5,0 kg de N por ppm. **Lo más común es usar 5 kg de N/ppm**

La demanda de nitrógeno depende del nivel de producción. Para decidir las cantidades a emplear hay que estimar la demanda del cultivo o pastura y estimar cuanto puede aportar el suelo por mineralización

Ajuste a la siembra:

Hasta macollaje trigo y cebada requieren 40 kg/ha de N, maíz y sorgo 50 kg/ha de N, considerando las pérdidas

Avena y raigrás requieren 50 kg de N hasta el primer pastoreo, después se agrega una dosis fija en función del forraje que se cosechará en cada pastoreo y las pérdidas estimadas.

Azufre

La disponibilidad de S está relacionada con la MO del suelo, en suelos que han perdido MO las deficiencias son muy probables. Las deficiencias son más comunes en suelos arenosos o profundos y muy permeables (Melgar y Díaz Zorita, 2008).

Referencias en planta: 0.2% de S y relación N: S de 10 a 1 (no son válidos para crucíferas y liliáceas)

El sulfato en el suelo tiene poco valor predictivo. Se sugiere que el nivel de suficiencia se ubica en torno a los 10 ppm de sulfato.

	ppm de S-SO ₄ en el suelo				
Valor analítico	<5	5-10	10-15	15-25	>25
Interpretación	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio-alto	Alto

Probabilidad de respuesta	Muy alta	Alta	Media	Media-baja	Muy baja
---------------------------	----------	------	-------	------------	----------

Encalado

Suelos con Al intercambiable	Suelos sin Al intercambiable
MO < 2% 3 ton Caliza/meq Al intercambiable	Vertisoles y brunosoles éutricos: 10 ton/unidad de pH
MO > 2% 4 ton Caliza/meq Al intercambiable	Brunosoles subéutricos y Argisoles: 5 ton/unidad de pH

Groseramente, 1 tonelada de caliza de buena calidad permite aumentar 0.1 unidades de pH en suelos con contenidos medios y altos de MO y 0.2 unidades en el resto. En general, se obtiene buena respuesta a dosis de hasta 2.5 toneladas

MICRONUTRIENTES

Hay muy pocos estudios (regionales e internacionales) sobre micronutrientes y el valor predictivo de los análisis disponibles. Tomar los valores como indicativos, los mismos pueden complementarse con observaciones de sintomatología de deficiencias y/o análisis de plantas

ELEMENTO	Factores que afectan disponibilidad	Método de análisis	Nivel crítico, ppm
Boro	Textura, pH	Agua caliente	0.4 – 0.8 (suelos pesados)
Cobre	Mat. Orgánica, Hierro	EDTA 0.5M	0.75 (0.4-1.0)
		HCl 0.1 N	0.15 – 0.4
		DTPA	0.2 - 0.7
Zinc	pH, encalado	EDTA 0.5M	1.4 - 3.0
		HCl 0.1 N	3 (1 - 5)
		DTPA	1.0 -0.8 (0.2 - 2.0)
		Mehlich	1.1 (0.5-3.0)
Hierro	pH, encalado	DTPA	2.5 - 4.5
Manganeso	Materia orgánica, pH	DTPA	1.0 2.0
		HCl	5.0 (pH 6)- 8.0 (pH 7)
Molibdeno	Fe, P y S	Oxalato de amonio	0.2

En verde está el análisis más utilizado, pero es conveniente mirar qué análisis se hizo

Para cubrirse usar el Nivel crítico más alto del rango indicado

ANALISIS FOLIAR (INTA)

Alfalfa, estado nutricional según rangos de concentración en hoja.

	Deficiente, gr/kg	Suficiente, gr/kg
Nitrógeno	< 40.0	46.0 a 70.0
Fósforo	< 2.0	2.6 a 7.0
Potasio	< 17.5	20.0 a 40.0
Calcio	< 2.5	5.1 a 30.0

Magnesio	< 2.0	2.6 a 10.0
Azufre	< 2.0	2.6 a 5.0

	Deficiente, mg/kg	Suficiente, mg/kg
Manganeso	< 20.0	26 a 250
Hierro	< 20.0	31 a 300
Boro	< 10.0	29 a 80
Cobre	< 6.0	10 a 30
Molibdeno	< 0.5	1.1 a 4.0
Zinc	< 10.0	21.0 a 70.0

Micronutriente	Funciones
Boro	Metabolismo y transporte de carbohidratos; síntesis de pared celular y lignificación; integridad de membranas; alargamiento de raíz; síntesis de ADN; formación de polen y polinización
Cloro	Fotosíntesis; compensación de cargas y osmoregulación; actividad enzimática
Cobre	Constituyente de numerosas enzimas con roles en fotosíntesis, respiración, metabolismo de carbohidratos y proteínas, lignificación y formación de polen
Hierro	Constituyente de citocromos y metaloenzimas; roles en fotosíntesis, fijación simbiótica de N, metabolismo de N y reacciones redox
Manganeso	Fotólisis de agua en cloroplastos; regulación de actividad enzimática; protección contra daño oxidativo de membranas
Molibdeno	Fijación simbiótica de N; constituyente de enzimas
Níquel	Constituyente de enzima ureasa; rol en asimilación de N
Zinc	Constituyente de numerosas enzimas con roles en síntesis de carbohidratos y proteínas; mantenimiento de integridad de membranas; regulación de síntesis de auxinas y de formación de polen

Fuentes consultadas:

Casanova, O., Ferrando, M. (2010) *Principales interrogantes en el manejo de la nutrición de las plantas*. Montevideo: Hemisferio Sur.

Rabuffetti, A. (2017). *La fertilidad del suelo y su manejo*. Montevideo: Hemisferio Sur.

Perdomo, C. *Recomendación de dosis de fertilización*.

(http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/docs/RecDosis_impr.pdf)

Melgar, R. y Díaz Zorita, M. (2008). *Fertilización de pasturas y cultivos*. 2ª ed.-Buenos Aires: Hemisferio Sur

Se agradece al Ing. Agr. Carlos Perdomo su revisión del documento.