



CONTENIDO

	Pág.
Efecto de la corrección del pH en el rendimiento de piña en suelos volcánicos	1
El Sistema Internacional de Unidades (SI)	6
Manejo del potasio para la producción de cultivos orgánicos	11
Reporte de Investigación Reciente	15
- Distribución de nutrientes en plantaciones de eucalipto en el Brasil	
- Efecto de la fertilización con fosfito en el crecimiento, rendimiento y composición del cultivo de fresa	
Cursos y Simposios	15
Publicaciones Disponibles	16

Editores : Dr. José Espinosa
Dr. Raúl Jaramillo

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor



Misión: Desarrollar y promover la información científica sobre el manejo responsable de la nutrición de las plantas para beneficio de la humanidad

EFFECTO DE LA CORRECCION DEL pH EN EL RENDIMIENTO DE PIÑA EN SUELOS VOLCANICOS

Francisco Mite¹, Lorena Medina² y José Espinosa³

Introducción

La región del litoral de Ecuador tiene condiciones climáticas favorables para el cultivo de piña (*Ananas comosus*). El cultivo crece en suelos de origen sedimentario y metamórfico y en suelos derivados de ceniza volcánica. Sin embargo, el crecimiento en área sembrada en los últimos años ha ocurrido principalmente en suelos volcánicos ácidos del centro y norte de la costa del Ecuador. El crecimiento en el área de cultivo se fundamenta en la disponibilidad de nuevos materiales de piña, particularmente del híbrido MD2 de alto rendimiento, excelente sabor y buena aceptación en los mercados internacionales.

Es comúnmente aceptado que la piña se desarrolla mejor en suelos ácidos (Anónimo, 1996; Jaramillo, 1990; Uriza et al., 1994), pero condiciones ácidas extremas pueden causar problemas aun en cultivos tolerantes como la piña. Las altas concentraciones de Al intercambiable (Al^{3+}) en suelos ácidos afecta el crecimiento radicular y el rendimiento de los cultivos (Espinosa y Molina, 1999). No obstante, el uso de enmiendas para controlar el problema no es completamente aceptado por agricultores y técnicos dedicados al cultivo, basándose en la premisa de que la piña necesita condiciones ácidas para desarrollarse adecuadamente.

Los suelos de la zona de expansión de la piña en Ecuador reciben abundantes precipitaciones (> 3 000 mm al año) que promueven altas tasas de lixiviación. Esta condición está relacionada principalmente con la baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) generada por la acidez en suelos de carga variable (Uehara, 1984). Esta condición, junto con la alta concentración de Al^{3+} en la solución del suelo podría limitar el potencial de rendimiento de la piña MD2.

En estas condiciones, el uso de enmiendas puede mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo al precipitar el Al^{3+} e incrementar la CIC del suelo. Para probar el efecto de varias enmiendas en el cultivo de la

- 1 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue, Quevedo, Ecuador. Correo electrónico: fmittev@gye.satnet.net.
- 2 Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Tropical Pichilingue, Quevedo, Ecuador. Correo electrónico: loremed50@hotmail.com.
- 3 International Plant Nutrition Institute (IPNI). Oficina para el Norte de Latino América, Quito, Ecuador. Correo electrónico: jespinoza@ipni.net.

Tabla 1. Características químicas del suelo en el sitio experimental.

pH	MO %	NH ₄ ----- mg kg ⁻¹ -----	P	S	K	Ca	Mg	Al+H ----- cmol _c kg ⁻¹ -----
4.4	5.8	19	16	24	0.3	2.0	0.3	1.5

piña se diseñó un experimento cuyos objetivos fueron: 1) determinar la mejor enmienda y la dosis de aplicación para controlar la acidez de suelos volcánicos cultivados con piña, 2) evaluar el efecto de las enmiendas en el crecimiento radicular y el rendimiento de la piña, 3) identificar los cambios químicos del suelo con la utilización de las diversas enmiendas.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en dos fases: una fase de laboratorio e invernadero y otra de campo. En la primera fase se condujo una prueba de incubación para evaluar el efecto de la incorporación de calcita (carbonato de calcio, CaCO₃), magnesita (carbonato de magnesio, MgCO₃), dolomita (CaCO₃·MgCO₃) y yeso (sulfato de calcio, CaSO₄) sobre el pH del suelo, la precipitación del Al³⁺ y los cambios en la CIC del suelo. Se aplicaron dosis de 0, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0 y 10.5 t ha⁻¹ de cada una de las enmiendas en 900 g de suelo seco. Se mezclaron completamente las enmiendas con el suelo y se colocaron en bolsas plásticas. La mezcla se humedeció a capacidad de campo, se selló la bolsa y se dejó a reaccionar por 30 días. Se procedió a voltear cada bolsa dos veces al día. Al terminar el periodo de incubación se procedió a secar los suelos y se recogió una muestra para determinar el pH, contenido de Al y CIC.

En la segunda fase se condujo un experimento de campo que se sembró en Febrero del 2007 y se cosechó en Mayo del 2008. Las condiciones climáticas de la zona donde se ubicó el experimento son las siguientes: temperatura media 24.4 °C, precipitación anual 3 530 mm, humedad relativa 88.1 %, evaporación anual 975.9 mm, heliofanía 779.0 horas luz año⁻¹. El suelo del sitio, representativo de la zona, es un Andisol clásico formado por las deposiciones de ceniza generada por los volcanes del norte de la sierra ecuatoriana. La **Tabla 1** resume las características químicas del sitio experimental. En esta fase se utilizaron los mismos tratamientos del experimento de incubación, dispuestos en el campo en un diseño de bloques completos al azar, arreglados en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas principales fueron las enmiendas y las subparcelas las dosis de aplicación. Se utilizó el híbrido MD2 como material de siembra. Se registró el peso del sistema radicular a la floración y el rendimiento total de frutos a la cosecha en cada uno de los tratamientos.

Todo el experimento se fertilizó utilizando 643, 237, 757, 109, 175, 7.9, 9.9, 3.2 y 2.1 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, MgO, S, Zn, Mn, Fe y B, respectivamente. De estas cantidades, el 33, 100, 35, 53, 41, 86, 73 y 48 % del N, P₂O₅, K₂O, MgO, S, Zn, Mn y B, respectivamente, se aplicaron al suelo hasta la octava semana. El resto fue aplicado cada 15 días en soluciones foliares hasta la inducción floral, que ocurrió en la semana 33. El manejo fitosanitario del experimento fue el mismo que utiliza la plantación comercial donde se ubicó el estudio.

Resultados y discusión

Pruebas de incubación

Los resultados de la prueba de incubación presentados en la **Figura 1** muestran el efecto de las diferentes enmiendas estudiadas en el pH del suelo después de 30 días de incubación. No hubo cambios significativos en pH después de los 30 días. Como era de esperarse en este tipo de suelos, la calcita, la magnesita y la dolomita tuvieron un efecto marcado en el pH del suelo. Para alcanzar un valor de pH 5.5, suficiente para precipitar el Al en suelos tropicales de carga variable, se necesitaron 2.9, 4.4 y 5.9 t ha⁻¹ de magnesita, calcita y dolomita, respectivamente. Como era también de esperarse, por su naturaleza, el yeso no originó cambios en el pH del suelo (Van Raij, 2008).

Uno de los principales cambios químicos que se produjeron como consecuencia de las aplicaciones de las enmiendas fue el incremento de carga negativa en la superficie de los coloides. Este cambio se puede medir por medio de la diferencia entre el pH medido con 1N KCl y el pH medido con agua ($pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$). El signo y magnitud del pH corresponden al signo y magnitud de la carga superficial de los coloides (Nanzyo et al., 1993; Uehara, 1984; Uehara y Gillman, 1979). El efecto de las enmiendas estudiadas en el pH se presenta en la **Figura 2**. El incremento en carga superficial fue más evidente en los carbonatos que en el yeso. Sin embargo, en todos los casos, el incremento se observó solamente en la dosis más baja de las enmiendas (1.5 t ha⁻¹). Esta condición estaría relacionada con la precipitación de la mayoría del Al lograda a pH alrededor de 5.5 con las dosis bajas de las enmiendas.

Otra forma de evaluar el efecto de las enmiendas en la carga superficial de los coloides es determinando la CIC del suelo. El método más popular para determinar la CIC

utiliza acetato de amonio (NH₄OAc) 1M a pH 7.0. Existen también otros métodos que utilizan soluciones amortiguadas a pH 7.0 y 8.2. Estos métodos funcionan bien en suelos dominados por arcillas de carga permanente y determinan adecuadamente la CIC. Sin embargo, cuando se utilizan en suelos dominados por arcillas de carga variable los resultados no son aceptables. Si el pH del suelo dominado por arcillas de carga variable es menor que 7.0, el pH de la solución extractora amortiguada a pH 7.0 u 8.2 crea artificialmente carga adicional en la superficie de los coloides produciendo datos que no representan la real CIC del suelo en condiciones de campo (Uehara y Gillman, 1979).

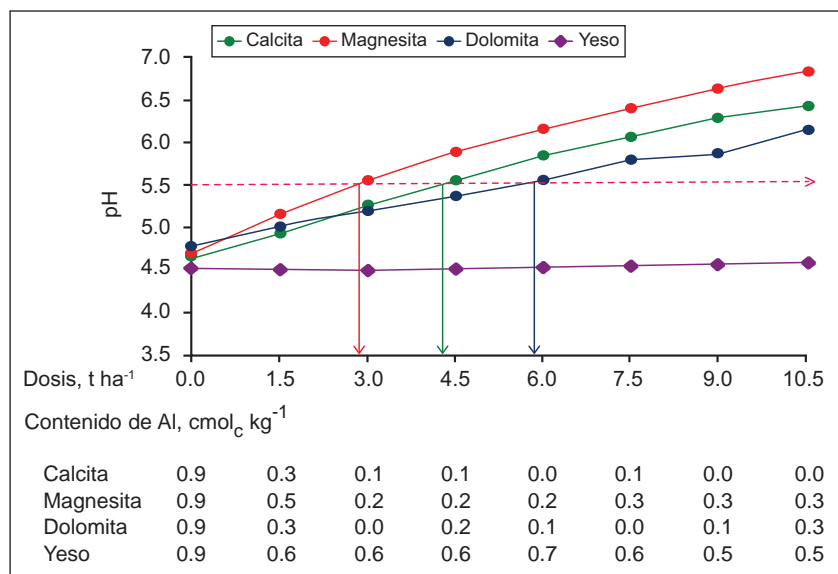


Figura 1. Curvas de neutralización de la acidez después del periodo de incubación.

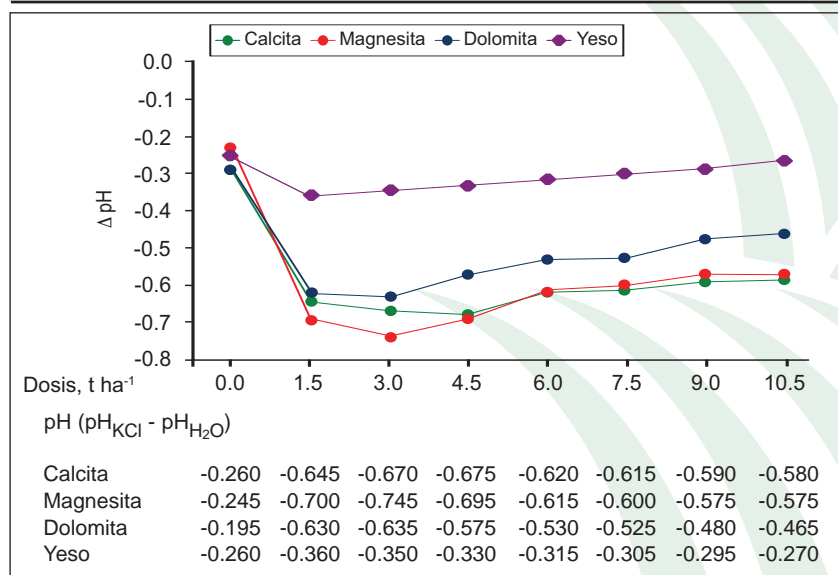


Figura 2. Variación del ΔpH en función de las dosis de enmiendas utilizadas.

Se han evaluado métodos diferentes para la determinación de la CIC en suelos de carga variable. Estos métodos miden la capacidad del suelo de adsorber cationes de una solución acuosa a un pH y fuerza iónica similares a aquellos que el suelo tiene en sus condiciones naturales en el campo. Uno de estos métodos satura el suelo con una solución no amortiguada (que no cambia el pH del medio) de un catión divalente como el Ba (BaCl₂) (Uehara y Gillman, 1979). Estos métodos logran determinar la real CIC del suelo. En la **Tabla 2** se presenta una comparación entre la determinación de la CIC con acetato de amonio y con cloruro de bario en el suelo incubado con las diferentes enmiendas.

Como se observa en la **Tabla 2**, la determinación de la CIC con la sal indiferente (BaCl₂) permite evaluar la real capacidad de retener cationes del suelo en estudio y permite observar claramente el

Tabla 2. Comparación de la determinación de la CIC con acetato de amonio y cloruro de bario en un Andisol de Ecuador incubado por 30 días con diferentes enmiendas.

Dosis	CIC con cloruro de bario				CIC con acetato de amonio			
	Calcita	Magnesita	Dolomita	Yeso	Calcita	Magnesita	Dolomita	Yeso
t ha ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹ de suelo							
0.0	7.03	6.43	7.61	5.83	24.02	23.72	23.42	21.84
1.5	7.66	7.43	7.45	6.29	23.72	23.92	24.02	22.03
3.0	8.36	9.41	7.56	6.17	22.83	24.42	24.22	22.13
4.5	9.21	10.15	9.43	6.47	25.81	23.72	24.91	22.03
6.0	9.75	11.75	9.71	6.76	23.62	24.71	24.61	22.33
7.5	11.64	13.31	10.85	6.62	23.52	25.51	25.81	22.43
9.0	12.44	13.74	11.23	6.29	23.72	24.81	24.61	23.22
10.5	13.61	14.63	12.06	6.90	24.12	25.31	25.41	22.23

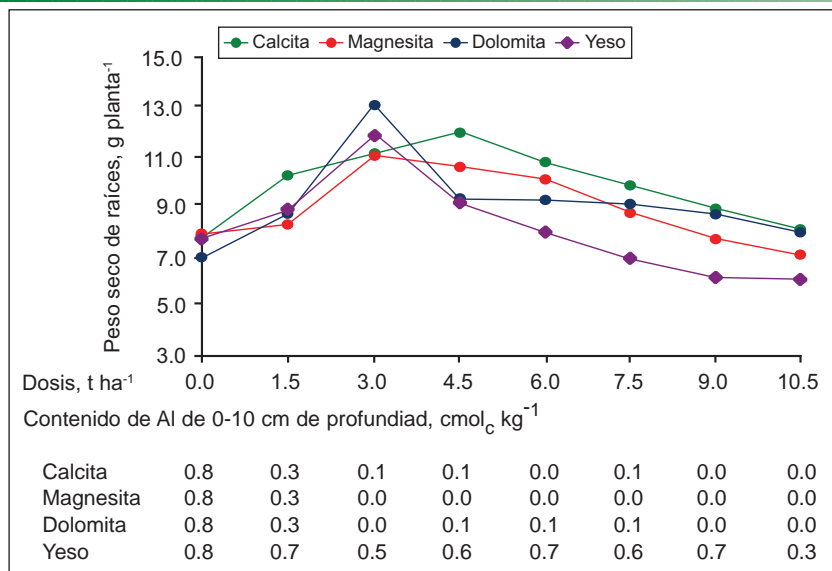


Figura 3. Efecto de la aplicación de enmiendas en el crecimiento radicular y el contenido de Al en el suelo.

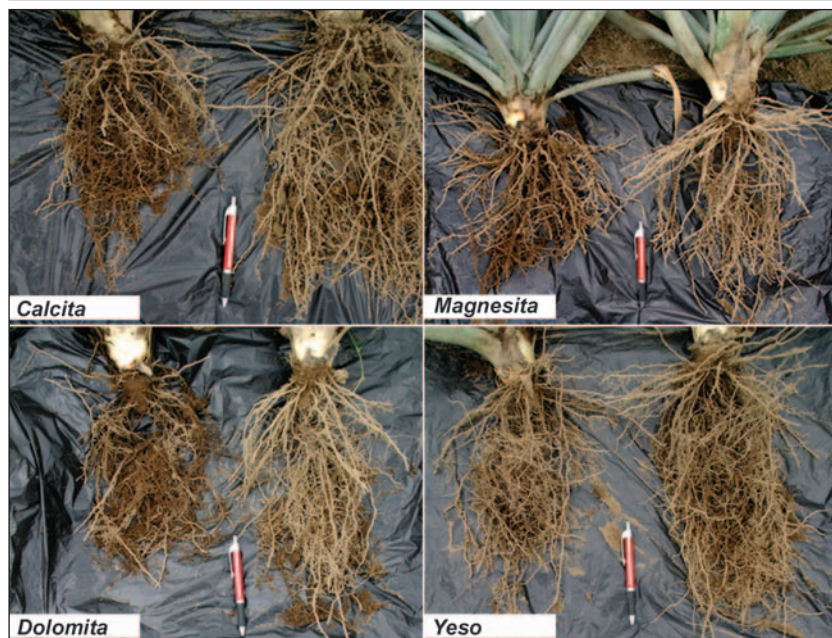


Foto 1. Efecto de la aplicación de enmiendas en el crecimiento radicular de la piña MD2 cultivada en un suelo ácido derivado de ceniza volcánica

Experimento de campo

Crecimiento radicular

En la **Figura 3** se presentan los datos de crecimiento radicular a la floración y los contenidos de Al^{3+} en el suelo, como efecto de la aplicación de las enmiendas. Se observa el efecto positivo de todas las enmiendas en las dosis de 1.5 y 3.0 $t\ ha^{-1}$ sobre el crecimiento de las raíces. Este comportamiento está directamente relacionado con la precipitación del Al^{3+} en el suelo por efecto de los carbonatos y por el acomplejamiento de Al^{3+} como sulfato del aluminio (SO_4Al^+) con el yeso. La **Foto 1** ilustra bien este efecto. Luego de que se ha eliminado el Al^{3+} como factor limitante ya no se observa respuesta en crecimiento radicular a la aplicación de dosis más altas de enmiendas y más bien se observa una reducción del crecimiento, lo que sugiere otra condición limitante para las plantas luego de que el suelo alcanza valores de pH superiores a 5.5.

Rendimiento

El efecto de las aplicaciones de las enmiendas en el rendimiento de fruta de piña MD2 se presenta en la **Figura 4**. Se observa que es suficiente aplicar dosis de 1.5 $t\ ha^{-1}$ para conseguir los rendimientos más altos. Nuevamente, el efecto de la aplicación de las enmiendas en el contenido de Al^{3+} en el suelo explica la respuesta. Una vez que el Al^{3+} se precipita o acompleja no son necesarias dosis más altas de enmiendas. Más aún, se observa que el rendimiento de fruta se reduce con la aplicación de dosis más altas de las enmiendas utilizadas. Esta reducción de rendimiento estuvo relacionada directamente con la presencia de *Phytophthora sp* en el cultivo, incidencia que es cada vez mayor a medida que se incrementan las dosis de las enmiendas (**Figura 5**). Esta es quizás la razón por la cual los productores de piña se resisten a la aplicación de enmiendas para mejorar el pH del suelo, considerando que un pH ácido es adecuado para el cultivo. Los datos de este estudio demuestran que en Andisoles tropicales la aplicación de enmiendas para eliminar el Al del suelo es una práctica adecuada y rentable. Sin embargo, es necesario evitar aplicar cantidades mayores de enmiendas que las necesarias para eliminar la presencia de Al^{3+} como factor limitante. Los datos de este estudio indican que dosis mayores de

efecto de los carbonatos en la generación de carga en la superficie de los coloides. El encalado de los suelos de carga variable no produce un cambio radical en pH y los iones OH^- , producto de la reacción de la cal, son adsorbidos por la superficie reactiva de los coloides creando carga negativa (Espinosa y Molina, 1999). De igual forma, se observa en la **Tabla 2** que la determinación de la CIC con acetato de amonio sobrestima la carga en la superficie de los coloides de este tipo de suelos y por esta razón pierde la sensibilidad para evaluar la generación de carga por los carbonatos. Uno de los beneficios del encalado en los suelos de carga variable es el incremento de la CIC que permite una mejor retención de cationes, factor importante en suelos sujetos a alta lixiviación como los suelos de la zona donde estuvo ubicado el estudio.

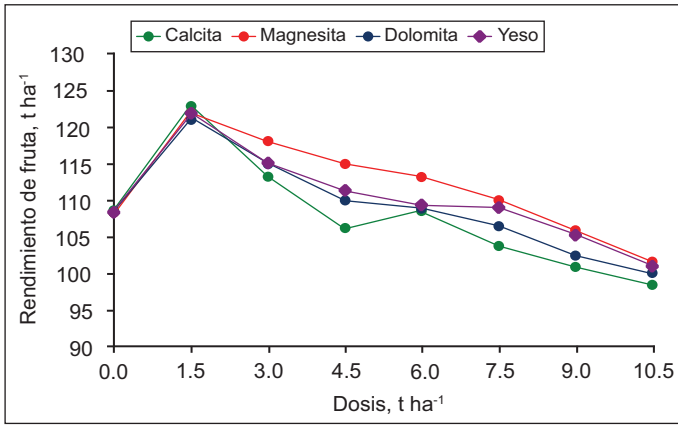


Figura 4. Efecto de la aplicación de enmiendas en el rendimiento de fruta de piña MD2.

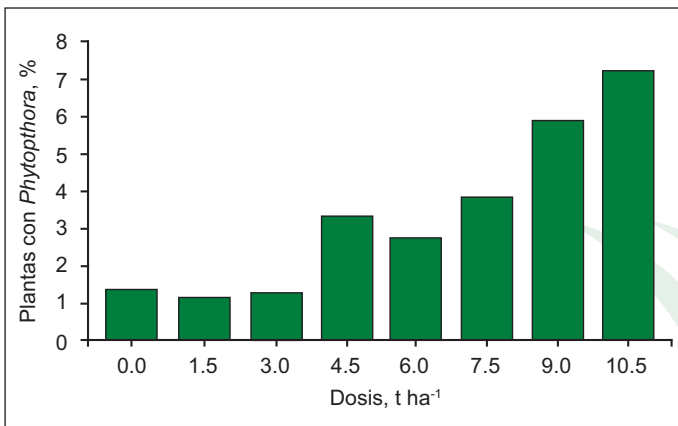


Figura 5. Efecto individual de las dosis de enmiendas, a través de las fuentes, en el porcentaje de infección con *Phytophthora sp* de piña MD2.



Foto 2. La aplicación de altas dosis de enmiendas promueve la presencia de *Phytophthora sp* en el cultivo de piña.

enmiendas a las necesarias predisponen a la planta a infecciones de *Phytophthora sp* que reducen significativamente el rendimiento (Foto 2).

Se conoce que los Andisoles tienen una alta capacidad tampón (resistencia al cambio de pH) que además varía según el tipo de ceniza y el manejo del suelo (Nanzyo et al., 1993; Sadzawka y Carrasco, 1985). Por esta razón, es difícil recomendar dosis generales de enmiendas para todos los sitios basándose solamente en el contenido de Al^{3+} en el suelo, como se hace en Ultisoles y Oxisoles. En el caso de los Andisoles es una buena práctica el conducir

una sencilla prueba de incubación, como la que se presenta en este estudio, para determinar las dosis de enmiendas necesarias para un sitio en particular.

Conclusiones

El uso de enmiendas en Andisoles ácidos dedicados al cultivo de la piña permite mejorar el rendimiento de fruta. Esto se atribuye al hecho de que las enmiendas crean condiciones para un mejor crecimiento del sistema radicular al eliminar Al^{3+} como el principal factor limitante en suelos ácidos. Además, el uso de carbonatos en Andisoles de carga variable genera cargas negativas, lo que incrementa la CIC y la posibilidad de que los nutrientes aplicados sean utilizados por el cultivo de manera eficiente. Sin embargo, en el cultivo de piña, la aplicación de dosis de enmiendas mayores a las necesarias para precipitar o acomplejar el Al^{3+} crean una condición favorable para la multiplicación de *Phytophthora* que afecta significativamente el crecimiento y rendimiento de las plantas. Por esta razón, es crítico determinar la dosis exacta de enmiendas necesarias para precipitar o acomplejar el Al^{3+} , particularmente en los Andisoles cultivados con piña. Esto se logra con una simple prueba de incubación que permite determinar la cantidad de enmiendas necesarias para controlar la acidez de un sitio en particular.

Bibliografía

Anónimo, 1996. El cultivo de la piña. Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas, Venezuela.

Espinosa, J. y E. Molina. 1999. Acidez y encalado de los suelos. INPOFOS, Ecuador.

Jaramillo, V. 1990. El cultivo de la piña, pp. 48-52, Primer Congreso Nacional de Fruticultura. PROTECA, Ambato, Ecuador.

Nanzyo, M., R. Dahlgren, and S. Shoji. 1993. Chemical characteristics of volcanic ash soils, p. 145-187, In S. Shoji, et al., eds. Volcanic ash soils, Vol. 21. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Sadzawka, R. y R. Carrasco. 1985. Química de los suelos volcánicos, pp. 337-431, In J. Tosso, ed. Suelos volcánicos de Chile, Primera ed. Instituto de investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.

Uehara, G. 1984. Physico-chemical characteristics of andisols, pp. 39-52, In F. Beinroth, et al., (eds.) Sixth International Soil Classification Workshop, Vol. 1. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

Uehara, G. and G. Gillman. 1979. The mineralogy chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. Westview Press, Boulder, Colorado, USA.

Uriza, D., A. Rebolledo, R. Zárate, J. Orona, J. Reyes y R. Mosquera. 1994. Manual de producción de piña para Veracruz y Oaxaca. INIFAP, Veracruz, México.

Van Raij, B. 2008. Gesso na agricultura. Instituto Agronomico de Campinas, Campinas, Brasil.*

EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)¹

Víctor Hugo Alvarez V.² y Gustavo Adolfo M. Alvarez³

La utilización de sistemas de unidades diferentes dificulta la comercialización de productos y el intercambio del conocimiento entre personas de distintas regiones o de diferentes pueblos.

En Francia, en un esfuerzo para resolver estos problemas, la Asamblea Legislativa (1791-1792) instalada después de la revolución francesa (1789) y el gobierno de la primera república (1792-1804) solicitaron a la Academia Francesa de Ciencias la creación de un sistema único de medidas, teniendo como base una constante natural, de modo que el sistema pudiera ser reproducido con exactitud en cualquier lugar y en cualquier momento. De este esfuerzo surgió la definición de metro, unidad fundamental del Sistema Métrico Decimal y de los sistemas CGS (centímetro - gramo - segundo) y MKSA (metro - kilogramo - segundo - amperio), y en la actualidad del Sistema Internacional de Unidades (SI).

El Sistema Métrico Decimal inicialmente adoptó tres unidades de medida: metro, litro y kilogramo. El sistema CGS incluyó otra dimensión, el tiempo, por lo que las unidades básicas pasaron a ser centímetro, gramo y segundo. En el sistema MKSA, las unidades básicas se modificaron a metro, kilogramo, segundo y amperio. Las siglas CGS y MKSA se refieren, por tanto, a las primeras letras de las unidades patrones establecidas.

El desarrollo técnico-científico de la humanidad, acelerado por la revolución industrial, pasó a exigir un mayor número de medidas, cada vez más exactas y reproducibles. Por esto, el Sistema Métrico Decimal y sus distintas aproximaciones y perfeccionamientos fueron sustituidos por el SI, sistema aprobado en 1960, en París, por la 11^{era} Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) por medio de la resolución No 12 del Buró Internacional de Pesos y Medidas (BIPM). El SI fue adoptado por Brasil en 1962 y ratificado el 12 de Octubre de 1988 por la resolución No 11 del Consejo Nacional de Metrología, Normalización y Calidad Industrial (INMETRO). Esta resolución volvió al SI de uso obligatorio y exclusivo en todo el territorio nacional mediante el decreto que ordena lo siguiente: “Adóptense en Brasil, obligatoria y exclusivamente, las unidades basadas en el SI, aprobadas por el CGPM” (INMETRO, 2007a). Desde 1967, para el INMETRO, el SI es por fuerza de ley el único sistema de unidades legales para Brasil, para todas las actividades y relaciones humanas,

especialmente las comerciales. Esto implica que toda publicidad, documento o propaganda deben traer información utilizando únicamente el SI. La Sociedad Brasileira de la Ciencia del Suelo (SBCS), en el XXIV Congreso Brasileiro de la Ciencia del Suelo de 1993, en Goiânia, adoptó y oficializó el SI para sus eventos y publicaciones.

En el SI se escogieron siete magnitudes, denominadas magnitudes base, que se pueden definir independientemente, de acuerdo a un fenómeno físico, con gran rigor y exactitud. Para estas magnitudes, la CGPM fijó las respectivas siete unidades base, siendo las dos primeras el metro y el kilogramo, aprobadas en 1889. La 1^{era} CGPM creó éstas en forma de dos prototipos internacionales.

Las demás magnitudes fueron designadas como magnitudes derivadas, es decir, variables que resultan de la combinación de las magnitudes base. El conjunto de unidades organizadas de esta forma caracteriza a un sistema de unidades como el SI.

Una magnitud base se caracteriza por tener una dimensión única (**Tabla 1**). Entre las magnitudes base están la masa y la cantidad de materia de gran interés en Química y Fertilidad de Suelos.

El 19 de marzo de 1791, la Academia Francesa de Ciencias propuso el sistema decimal para pesos, medidas y monedas, recomendando que las unidades de longitud se relacionen con un cuarto del meridiano terrestre. Posteriormente, el 30 de marzo de 1791, se decidió que el metro (del griego *metron* = medida), sea la unidad de longitud y que equivalga a 1/10 000 000 del

Tabla 1. Las siete magnitudes del Sistema Internacional de Unidades con sus dimensiones y unidades base (Brasil, 2002; BIPM, 2006; Franco García, 2007).

Magnitud	Dimensión	Unidad SI	Símbolo
Longitud	L	metro	m
Masa	M	kilogramo	kg
Tiempo	T	segundo	s
Corriente eléctrica	I	amperio	A
Temperatura termodinámica	θ	kelvin	K
Cantidad de materia	N	mol	mol
Intensidad luminosa	J	candela	cd

¹ Extraído del libro *Dimensões, Unidades (SI) e Constantes Utilizadas em Química e Fertilidade do Solo*, escrito por los autores de este artículo.

² Profesor titular del Departamento de Suelos, Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. Bolsista 1C do CNPq. Correo electrónico: vhav@ufv.br.

³ Profesor del Centro Universitario UNIRADIAL, São Paulo, SP, Brasil.

cuadrante del meridiano terrestre (distancia del Polo Norte al Ecuador), medido en París. La consecuencia práctica y fundamental para la humanidad, y para el conocimiento científico moderno, fue la introducción del concepto del metro.

Tomando en cuenta que la longitud del cuadrante de un meridiano puede variar de acuerdo al lugar de medición y por errores en la medida, se decidió estandarizar la longitud del metro utilizando un prototipo consistente en una barra hecha con una aleación de platino-iridio (10 % Iridio). Este prototipo fue aprobado por la 1^{era} Conferencia General de Pasos y Medidas (1^{era} CGPM de 1889) y conservado por el BIPM, en Sévres, Francia.

En 1960, la 11^{era} CGPM sustituyó la definición de metro patrón (1889) basándose en la comparación con la longitud de onda en el vacío de la energía radiante correspondiente a la transición de un electrón entre los niveles $2p^{10}$ y $5d^5$ del átomo de ^{86}Kr , definiendo al metro patrón como $1\ 650\ 763.73$ veces la longitud de onda de emisión de los fotones rojo-anaranjados de átomos de ^{86}Kr (Franco García, 2007).

Para aumentar la exactitud de la medida de la longitud del metro patrón y facilitar su determinación, la 17^a CGPM, en 1983, sustituyó nuevamente la definición de metro por la longitud del trayecto de la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de $1/299\ 792\ 458$ s.

El metro es la principal unidad de medida de la cual se derivan los diferentes sistemas de unidades posteriormente aceptados y constituye el fundamento para la definición de las magnitudes, dimensiones y unidades base, como las que forman el SI (**Tabla 1**), pues las otras unidades se derivan o relacionan directamente con el metro, a excepción del kelvin para la temperatura termodinámica.

Del metro se derivan el m^2 , m^3 , cm y cm^3 , el que da origen al concepto de gramo (g) en razón de que la masa volumétrica de agua pura, a presión atmosférica normal ($101.325\ \text{kN m}^{-2}$) y a una temperatura de $4.44\ ^\circ\text{C}$ (masa volumétrica máxima de agua) es igual a $1.0\ \text{g cm}^{-3}$. Entonces, por convención, se tiene que $1.0\ \text{cm}^3$ de agua en esas condiciones corresponde a $1.0\ \text{g}$.

Con el uso del cm, g y s surgió el sistema de unidades CGS, en el cual la cantidad de materia [g o equivalente (Eq) o mol] de una muestra analizada se expresa en g, cm^3 o mL de la muestra, de acuerdo a su estado físico (sólido, líquido o gaseoso) o de la forma de medición (masa o volumen). Es bueno recordar este detalle porque, por analogía, en el SI la cantidad de materia (kg o mol) se expresa en kg, dm^3 o L de muestra.

La unidad que mide la cantidad de materia es la mol y

se utiliza cuando se determina la materia de una sustancia formada por una única entidad química o física. Indica el número de individuos o entidades de la sustancia (partículas, electrones, iones, átomos o moléculas). En fertilidad de suelos se determina el número de cargas negativas en las superficies de los coloides o de otro tipo de superficies de intercambio, el número de cargas positivas de los iones de un determinado catión y la suma de cargas positivas de un conjunto de cationes (suma de bases, SB).

El concepto de mol está íntimamente ligado al número de Avogadro. Una mol es la cantidad de materia de una sustancia o sistema que contiene tantas (en número) entidades elementales como átomos contenidos en exactamente $12\ \text{g}$ de ^{12}C (Brasil, 2002; BIPM, 2006). En esta definición se entiende que los átomos de ^{12}C no están unidos y se encuentran en reposo en su estado elemental. Este es el número de Avogadro que corresponde aproximadamente a $6.022\ 141\ 79 \times 10^{23}$. Por extensión, el número de Avogadro se define como el número de entidades elementales de una mol.

Cuando se utiliza la mol como unidad, debe especificarse cual es la entidad elemental en cuestión. Por eso, cuando se determina en los análisis de suelo la concentración de Mg intercambiable (iones Mg^{2+}), el resultado debe expresarse en mol_c (moles de carga). El atraso de la SBSCS en la oficialización del SI se debió al uso de la unidad $\text{meq (100 cm}^3)^{-1}$ en los análisis de formas intercambiables de cationes. El Eq fue eliminado del SI y no había en la literatura un concepto y unidad que la sustituya hasta que surgió la mol_c .

Cuando se analizan tejidos vegetales, no se debe expresar el contenido de un nutriente en moles de átomos, pues no se tiene una entidad o forma única del elemento, sino un conjunto numeroso, con concentraciones diferentes de muchas sustancias que incluyen ese nutriente. Por esta razón, en los análisis de materia seca de los tejidos vegetales, la cantidad de nutrientes debe expresarse en forma de masa (dag kg^{-1} o g kg^{-1}). La unidad mol, como medida de la cantidad de una sustancia fue ratificada por la 14^a CGPM, en 1971 (Brasil, 2002).

Para evitar la utilización de muchos dígitos en las unidades se recomienda el uso de prefijos. Los prefijos oficializados en el SI fueron adoptados en la 11^{era} CGPM en 1960 y fueron incrementados en las 12^{nda} (1964), 15^a (1979) y 19^a CGPM (1991) para expresar las magnitudes de múltiplos o submúltiplos de unidades base o de las unidades derivadas (Brasil, 2002; BIPM, 2006). Para los múltiplos y submúltiplos se utilizan nombres y símbolos específicos (**Tabla 2**).

A partir de las unidades base se obtienen también unidades derivadas, que siguen algebraicamente las mismas relaciones de las unidades base. Las unidades derivadas se obtienen directa o indirectamente de las unidades base por medio de definiciones que relacionan entre si las magnitudes a ser medidas, formando expresiones algebraicas que utilizan los símbolos de multiplicación y división (Tabla 3) y que pueden ser utilizadas, sin restricciones, con cualquier prefijo de múltiplo o submúltiplo.

El SI tiene otras unidades derivadas, pero con nombres y símbolos especiales (Tabla 4). Además de las unidades derivadas, existen también unidades que no pertenecen al SI, pero su uso es aceptado junto con las del SI (Tabla 5).

En 1969, el BIPM reconoció y aceptó que a pesar de que ciertas unidades no pertenecen al SI, por su amplia aceptación y conocimiento público, desempeñan funciones muy importantes para la vida diaria y deberían, en consecuencia, mantenerse sin restricción de plazo para usarse conjuntamente con las unidades del SI.

El litro (L) corresponde a un dm^3 de gas, líquido o sólido, pero se prefiere usarlo para líquidos. Por su origen en el sistema métrico, 1 L debería tener exactamente la masa de 1 dm^3 de H_2O a 4.44 °C (kg). Sin embargo, al realizarse nuevas mediciones, se encontró que 1 kg representa un volumen de 1.000 028 dm^3 . Por esta razón, en 1964, la 12^{nda} CGPM redefinió el valor de 1 L como igual a 1 dm^3 . El múltiplo del kg más utilizado es la tonelada (t).

También se aceptaron, sin restricción de plazo, para su uso conjunto con el SI, las unidades que poseen relación con las unidades del SI y cuyos valores fueron obtenidos

Tabla 2. Prefijos utilizados en el Sistema Internacional de Unidades (Brasil, 2002; BIPM, 2006; Franco García, 2007).

----- Múltiplo -----			----- Submúltiplo -----		
Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	quilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

experimentalmente, como el electrón-voltio (eV), la unidad de masa atómica (u) o el Dalton (Da).

Existen ciertas unidades de medida (Tabla 6) que, por su popularidad en algunos países y en ciertas áreas del conocimiento, continúan siendo utilizadas en conjunto con las unidades del SI en forma temporal, hasta cuando su empleo no sea necesario. Sin embargo, de acuerdo al Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM), estas unidades no deben ser adoptadas por aquellos que ya utilizan el sistema oficial de medidas.

La gran mayoría de mediciones y de análisis se realizan en rocas, suelos, sedimentos, plantas y soluciones, en los que la cantidad de materia se expresa en magnitud masa, cuya unidad base es el kg, o con magnitud derivada, como volumen, de dimensiones L^3 y unidad m^3 o dm^3 .

Haciendo una analogía con el sistema CGS, en el cual la materia en estudio se expresaba en g, cm^3 o ml, las unidades que pasaron a sustituirlas en el SI son kg, dm^3 o L y su uso depende del estado de la materia de análisis, ya sea sólido, kg o dm^3 , o gas, dm^3 o líquido, L.

Tabla 3. Ejemplos de unidades derivadas utilizadas por el Sistema Internacional de Unidades.

Magnitud	Nombre*	Símbolo
Area	metro(s) cuadrado(s)	m^2
Volumen	metro(s) cúbico(s)	m^3
Velocidad	metro(s) por segundo	$m s^{-1}$
Aceleración	metro(s) por segundo por segundo	$m s^{-2}$
Masa volumétrica**	kilogramo(s) por metro cúbico	$kg m^{-3}$
Superficie específica	metro(s) cuadrado(s) por kilogramo	$m^2 kg^{-1}$
Volumen específico	metro(s) cúbicos por kilogramo	$m^3 kg^{-1}$
Caudal	metro(s) cúbico(s) por segundo	$m^3 s^{-1}$
Flujo	metro(s) cúbico(s) por metro cuadrado por segundo	$m^3 m^{-2} s^{-1}$

* (s) usado para plural.

** Esta unidad contradice las unidades básicas, de acuerdo con la forma de medida de las muestras, que en el SI son kg, dm^3 y L. Por tanto, la unidad debería ser $kg dm^{-3}$.

Tabla 4. Principales unidades derivadas, con sus nombres y símbolos especiales, utilizadas por el Sistema Internacional de Unidades (Brasil, 2002; BIPM, 2006; Franco García, 2007; INMETRO, 2007b).

Magnitud	----- Unidad -----		----- Expresión equivalente -----	
	Nombre*	Símbolo	En otras unidades SI	En unidades SI básicas
Frecuencia	hertz	Hz		s ⁻¹
Actividad de un radio nucleído	becquerel(s)	Bq		s ⁻¹
Actividad catalítica	katal(s)	kat		mol s ⁻¹
Fuerza	newton(s)	N		m kg s ⁻²
Presión	pascal(s)	Pa	N m ⁻²	m ⁻¹ kg s ⁻²
Energía, trabajo, cantidad de calor	joule(s)	J	N m	m ² kg s ⁻²
Potencia, flujo de energía	watt(s)	W	J s ⁻¹	m ² kg s ⁻³
Carga eléctrica (cantidad de electricidad)	coulomb(s)	C		A s
Potencial eléctrico, tensión, fuerza electromotriz	volt(s)	V	W A ⁻¹	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
Resistencia eléctrica	ohm(s)	Ω	V A ⁻¹	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
Conductancia eléctrica	siemens	S	Ω ⁻¹ = A V ⁻¹	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
Capacitancia eléctrica	farad(s)	F	C V ⁻¹	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
Flujo magnético	weber(s)	Wb	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
Flujo luminoso	lumen(s)	lm	cd sr	cd m ² m ⁻²
Iluminancia	lux	lx	lm m ⁻²	cd m ⁻²
Inducción magnética	tesla(s)	T	Wb m ⁻²	kg s ⁻² A ⁻¹
Inductancia	henry(s)	H	Wb A ⁻¹	m ² kg s ⁻² A ⁻²
Temperatura Celsius	grado(s) Celsius	°C		K

* (s) usado para plural.

Tabla 5. Unidades aceptadas para su uso con el Sistema Internacional de Unidades, sin restricciones de plazo (Brasil, 2002; BIPM, 2006; Franco García, 2007; INMETRO, 2007b).

Magnitud	----- Unidad -----		Relación con el SI
	Nombre*	Símbolo	
Volumen	litro(s)	l o L	1 dm ³
Masa	tonelada(s)	t	Mg
Angulo plano	vuelta(s)		2 π rad
	grado(s)	°	(π/180) rad
	minuto(s)	'	(π/10 800) rad
	segundo(s)	"	(π/648 000) rad
Velocidad angular	Revolución(es) por minuto	rpm	(π/30) rad s ⁻¹
Tiempo	minuto(s)	min	60 s
	hora(s)	h	3 600 s
	día(s)	d	86 400 s

* (s) usado para plural.

Tabla 6. Unidades temporalmente aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades (Brasil, 2002; BIPM, 2006, 2007).

Magnitud	----- Unidad -----		Relación con el SI
	Nombre*	Símbolo	
Longitud	angstrom(s)	Å	10 ⁻¹⁰ m
Area	are(s)	a	10 m x 10 m = 100 m ²
Area	hectárea(s)	ha	10 ⁴ m ² = hm ²
Presión	bar(s)	bar	1.0 x 10 ⁵ Pa = 100 kPa
Presión	mm de mercurio	mmHg	133.322 Pa
Actividad	curie(s)	Ci	3.7 x 10 ¹⁰ Bq = 37 GBq

* (s) usado para plural.

Para la materia sólida se usa kg cuando la muestra es medida en masa, y dm^3 cuando es medida en volumen. La masa es una magnitud que mide una sustancia, compuesto o materia definida. Por lo tanto, la masa no es seca, no es fresca y mucho menos viva (biomasa) o muerta (necromasa) o metálica (metalomasa).

El BIPM, en las Conferencias Generales de Pesos y Medidas, además de definir las magnitudes, dimensiones y unidades, aprobó una serie de normas para el uso adecuado del SI. Algunas de estas normas son:

- Los nombres de las unidades son seguidas de la letra s cuando están en plural, salvo aquellas que terminan en s, x ó z.
- Los símbolos representativos de las magnitudes (variables) deben representarse por letras del alfabeto latino o griego, impresas en tipo itálica.
- Las dimensiones deben representarse por caracteres de tipo romano vertical.
- Para armonizar el valor numérico con las unidades, estas deben estar precedidas (sin espacio) por el prefijo que permita indicar valores entre 0.1 y 999 en la unidad del numerador. En la unidad del denominador se debe utilizar la que indique la magnitud unitaria de la muestra, así, para experimentos y levantamientos en el campo se utiliza generalmente la hectárea (ha), en laboratorio, para medidas de masa se utiliza el kg (unidad base para masa), y para mantener concordancia con kg se recomienda que en muestras medidas en volumen de sólido o de gas se use el dm^3 y para volumen de líquidos el L.
- Se debe tener mucho cuidado con el uso de prefijos porque, junto a la unidad base, estos afectan los resultados de las operaciones algebraicas. Por ejemplo: $\text{hm}^2 = (100 \text{ m})^2 = 10\,000 \text{ m}^2$.
- Los autores pueden escoger la manera de escribir las unidades de entre las siguientes formas: kg/kg o kg kg^{-1} .
- Siempre debe dejarse un espacio entre el valor numérico y el símbolo de la unidad. Esto es válido para todas las unidades, incluyendo % y °C.
- En la presentación de valores numéricos no debe utilizarse dígitos y letras. Por ejemplo, la expresión de superficie cultivada de 800 millones de hectáreas, debe presentarse como 800 000 000 hectáreas u 800 000 000 ha o mejor 800 Mha.
- En la notación numérica se debe dejar un espacio entre grupos de tres dígitos, tanto a la izquierda como a la derecha de la separación de decimales. En números con cuatro decimales, se puede o no omitir este espacio en el extremo a la izquierda o derecha. Por ejemplo: 2008; 1325; 12 500; 160 012.12; 10 125.143 63; 18.149 652 2347; 2 450.133 3467.

- Por ejemplo, cuando un investigador dice que se muestreó una capa de suelo de 0.000 a 0.025 m, se puede observar que:
 - ~ No se cumple la recomendación de que el valor esté entre 0.1 y 999.
 - ~ Se desconoce la existencia y la importancia de c (centi), pues es más simple y coloquial el indicar de 0.0 a 2.5 cm.
 - ~ No se cumple con la responsabilidad social de divulgar completamente el sistema de unidades que debe ser de uso común por parte de toda la población.

Cuando un autor dice que la producción de maíz fue de 6 Mg ha^{-1} , viene la pregunta: porqué no utilizar t ha^{-1} , si t es una unidad de uso aceptado en el SI, sin limitación de plazo, y ha es una unidad temporalmente aceptada para el uso con el SI? Para ser purista en el uso del SI, se debería utilizar Mg hm^{-2} . Sin embargo puede imaginarse a alguien pidiendo que le vendan 5 Mg de arena de construcción?

Por compromiso con los lectores y por respeto a las resoluciones de organismos nacionales, tenemos la responsabilidad de captar la información de la literatura, expresada en sistemas de unidades exógenos y, o, discontinuados y transmitirla en el SI.

A parte de esto, tenemos la responsabilidad de integrar la comunidad científica con la sociedad civil por medio del uso de un lenguaje simple, claro y directo, de acuerdo con el SI, colaborando además para su divulgación.

Bibliografía

- BIPM, 2006. Bureau International de Poids et Mesures. Sistema Internacional de Unidades - SI. Última modificación: 11/01/2007. Resumen de la publicación del BIPM. Actualizado en Feb. 2006. Disponible en: www.bipm.org/en/si. Consultado el 11/02/2007
- BIPM, 2007. Bureau International de Poids et Mesures. Non-SI units accepted for use with the SI, and units based on fundamental constants. Última modificación: 11/01/2007. Disponible en: www.bipm.org Consultado el 19/01/2007
- Brasil, N.I. 2002. Sistema internacional de unidades: grandezas físicas e físico-químicas; recomendação das normas ISO para terminología e simbolos. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda. 125 p.
- Franco García, A. 2007. Sistema internacional de unidades. Disponible en: www.sc.edu.es Consultado el: 29/01/2007.
- INMETRO, 2007a. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Metrologia Legal. Resolução nº 11, de 12 de outubro de 1988. Disponible en: www.inmetro.gov.br. Consultado el: 6/01/2007a.
- INMETRO, 2007b. Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Unidades legais de medida: o sistema internacional de unidades - SI. Disponible en: www.inmetro.gov.br. Consultado el: 16/01/2007b.*

MANEJO DEL POTASIO PARA LA PRODUCCION DE CULTIVOS ORGANICOS

Robert Mikkelsen*

Introducción

El potasio (K) es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, pero a menudo recibe menos atención que el nitrógeno (N) y el fósforo (P) en muchos sistemas de producción. En muchas regiones del mundo se remueve más K en los productos cosechados de lo que se retorna al suelo con los fertilizantes y los residuos de cosechas o los residuos de corral.

El K es el catión requerido en mayor cantidad por las plantas, independientemente de la filosofía de manejo de nutrientes. Se requieren altas cantidades de K para mantener la salud y el vigor de las plantas. Entre los roles específicos del K en la planta se incluyen la osmoregulación, equilibrio interno de cationes y aniones, activación de enzimas, adecuado uso del agua, translocación de fotosintatos y síntesis de proteínas. La tolerancia de la planta a varios tipos de estrés como heladas, sequía, calor y alta intensidad de luz mejora con una apropiada nutrición de K. El adecuado suministro de este nutriente también mejora la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades. No se conocen efectos nocivos del K en el ambiente o en la salud humana, pero las consecuencias de mantener un inadecuado nivel de K pueden ser severas para el crecimiento y para la eficiente utilización de otros nutrientes como N y P por los cultivos. El mantener un nivel adecuado de K en el suelo y en la planta es esencial para la producción tanto de cultivos orgánicos como convencionales.

El K que se suplementa a los cultivos es a veces conocido como “potasa”. Este término proviene de una vieja técnica de producción que obtenía K lavando cenizas de madera y concentrando los sólidos por evaporación en grandes ollas (“pots”) de hierro. Al momento este proceso ya no es práctico ni ambientalmente sostenible. Este método de recolección depende de la absorción de K del suelo por las raíces de los árboles que luego se recupera cuando se quema la madera cosechada. La mayoría de fertilizantes que contienen K, sean usados en agricultura orgánica o en agricultura convencional, provienen de la deposición de sales marinas antiguas depositadas al evaporarse los mares. Este proceso geológico normal se lo puede ver todavía en lugares como los Grandes Lagos de Sal de los Estados Unidos y el Mar Muerto entre Israel y Jordania.

Producción orgánica de cultivos

Los principios básicos de la nutrición de las plantas son los mismos, sin importar el sistema de producción utilizado. Los sistemas de producción orgánico y convencional tienen muchos objetivos comunes y generalmente trabajan con los mismos recursos básicos. Mientras que las técnicas específicas de manejo de la nutrición y las opciones pueden variar entre los dos sistemas, los procesos fundamentales que mantienen la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas no cambian.

En general, los objetivos de la nutrición orgánica de los cultivos son: 1) trabajar dentro de sistemas y ciclos naturales, 2) mantener o incrementar la fertilidad del suelo a largo plazo, 3) usar fuentes renovables tanto como sea posible y 4) producir alimentos seguros, sanos y nutritivos.

¿Qué estándares orgánicos se deben seguir?

El uso de fuentes de nutrientes aprobadas está controlado por una variedad de organizaciones regionales, nacionales e internacionales. Cada organización mantiene diferentes estándares y permiten que se usen diferentes materiales en los sistemas orgánicos de producción, de acuerdo a su interpretación de los principios de agricultura orgánica. En consecuencia, un agricultor que busque orientación sobre los materiales orgánicos permitidos, debe primero conocer donde se venderá su cosecha y satisfacer los requerimientos específicos de ese mercado.

En general, las regulaciones para las fuentes de K provenientes de mina especifican que los materiales no deben ser procesados, purificados o tener alteraciones de su forma original. Sin embargo, existen desacuerdos entre diferentes cuerpos de certificación sobre que materiales específicos pueden ser utilizados. Desafortunadamente, las restricciones a ciertos materiales no tienen justificación científica sólida y su inclusión o exclusión de las listas de aprobación no debe verse como que el material sea más o menos seguros que otras fuentes de K.

Uso de los recursos de la finca

Existen muchas alternativas para el manejo exitoso de K en los sistemas de producción orgánica. Las diferencias más grandes se presentan entre los predios que crían

* Tomado de: Mikkelsen, R. 2008. Managing Potassium for Organic Crop Production. Better Crops With Plant Food 92(2):26-29. Correo electrónico: rmikkelsen@ipni.net.

ganado y producen cultivos y las fincas que sólo producen cultivos. En los sistemas mixtos ganadocultivo, la nutrición de los animales es generalmente la primera prioridad y los residuos de corral se retornan al suelo de los cultivos adyacentes. En estos casos, el K que ingresa en el alimento animal y en el tamo usado como camas frecuentemente excede a la salida de K en la leche y la carne, llevando en ocasiones a la acumulación de K en los lotes aledaños que reciben el estiércol. En estas fincas se pueden producir grandes pérdidas de K durante el almacenamiento de los residuos de corral y la elaboración de compost. Conociendo que la mayoría de K excretado se encuentra en la orina, si esta fracción no se recupera eficientemente, el K no ingresará al campo junto con la porción sólida del residuo.

La rotación de cultivos es parte central de los sistemas de producción orgánica. Si bien esta práctica puede ser útil para suplementar N cuando se incluyen leguminosas y puede también reducir las pérdidas de K por lavado, la rotación en sí no suplementa K adicional al suelo. Se ha demostrado que las raíces de las plantas promueven la intemperización de los minerales del suelo al agotar el K en la rizósfera, lo que provoca un cambio en el equilibrio del K. Este cambio puede promover procesos naturales y acelerar la tasa de transformación de las arcillas. Las reservas de K en el subsuelo pueden ser importantes para algunos sistemas de rotación de cultivos que incluyen plantas con raíces profundas que pueden extraer K de capas inferiores del suelo que más tarde puede ser utilizado por cultivos de raíces superficiales. Si bien las rotaciones pueden influenciar la disponibilidad del K existente en el suelo, la remoción continua de cualquier material vegetal del campo agota las reservas de nutrientes del suelo y finalmente reduce la productividad en el largo plazo.

Generalmente, se determina el contenido de K disponible para las plantas en la capa superior del suelo, pero algunas especies con raíces profundas pueden absorber cantidades considerables de K del subsuelo. El aporte de K del subsuelo para el cultivo depende de la cantidad de K disponible en la capa superficial del suelo y en el subsuelo, de factores potenciales que limiten el crecimiento de las raíces y del patrón de distribución de raíces de un cultivo específico. El análisis realizado en la capa superficial del suelo no considera la contribución de K del subsuelo.

Balance del potasio

Debido a que en la cosecha siempre produce una remoción de K del campo y conociendo que existen inevitables pérdidas adicionales por lixiviación y escorrentía superficial, el potencial de los sistemas de manejo del cultivo para renovar las reservas de K es muy importante. El uso de balances es útil para describir el flujo de nutrientes dentro del sistema de cultivos y para apoyar la planificación del manejo de nutrientes en las rotaciones a largo plazo y en los sistemas de cultivo mixto. Se ha demostrado que, dependiendo de una variedad de factores, los balances de N, P y K en las fincas orgánicas oscilan entre positivo (sobrante) a negativo (déficit).

Se ha establecido claramente la demanda de K de los cultivos mediante la determinación del contenido de K en la porción cosechada. Algunos ejemplos se presentan en la **Tabla 1**. Sin embargo, se ha prestado menor atención a la tasa de abastecimiento de K para el crecimiento de las plantas. Además, tanto la cantidad total requerida por el cultivo como la tasa de disponibilidad de la fuente utilizada tienen igual

importancia. Este concepto es importante durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo, pero requiere atención especial cuando se usan fuentes de nutrientes de baja solubilidad que pueden proveer una cantidad adecuada de K total, pero no en la velocidad suficiente para cubrir las necesidades de K en los picos de demanda durante el crecimiento (Mikkelsen, 2007)

Liberación del potasio de los minerales del suelo

Las fuentes minerales más comunes de K en el suelo son los feldespatos y las micas, minerales provenientes de materiales parentales primarios. La meteorización de estos materiales primarios produce un rango de minerales secundarios que también pueden servir como fuente de K

Tabla 1. Promedio de remoción de K en la porción cosechada de algunos cultivos agrícolas y hortícolas comunes (International Plant Nutrition Institute, 2007; Servicio de Conservación de los Recursos Naturales, 2007).

Cultivo	Nombre científico	Remoción de K kg t ⁻¹
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	23
Almendro	<i>Prunus dulcis</i>	50
Maíz (grano)	<i>Zea mays</i>	4
Maíz (ensilaje)	<i>Zea mays</i>	4
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	5
Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>	6
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	5
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	4
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	3
Cebada	<i>Triticum aestivum</i>	5

La humedad se basa en las convenciones de mercadeo.

en el suelo. Estos minerales incluyen a las arcillas micáceas como la illita y la vermiculita.

Se han evaluado rocas y minerales triturados como fuentes de K en experimentos de campo e invernadero. En general, las plantas son capaces de obtener una cantidad muy limitada de K cuando se usan minerales como la biotita, flogopita, moscovita y nefelina. El K en los feldespatos no está disponible para las plantas sin un tratamiento adicional.

La tasa de liberación de K de estos minerales está influenciada por factores como el pH, temperatura, humedad, actividad microbiana del suelo, área superficial reactiva y tipo de vegetación. Por lo tanto, un mineral que tiene cierta efectividad como fuente de K con algunas condiciones puede ser completamente ineficiente en otras.

Algunos minerales pueden actuar como sumidero removiendo el K presente en la solución del suelo. El K penetra dentro de las capas expandidas de illita, vermiculita y otras arcillas esmectíticas, luego estas capas de arcilla colapsan y atrapan el K dentro de la estructura del mineral. Este proceso de fijación es relativamente rápido, pero la liberación del K atrapado entre las capas es muy lento. No debe confundirse el K no intercambiable con el K mineral en los suelos que tiene arcillas esmectíticas. El K no intercambiable es aquel que está atrapado entre las unidades tetraédricas adyacentes de las arcillas mientras que el K mineral está unido mediante enlaces covalentes a las estructuras cristalinas de estos minerales.

Fuentes de potasio para la producción orgánica

Las aplicaciones regulares de K soluble, sin importar la fuente, incrementan la concentración de K en la solución del suelo y la proporción de K en los sitios de intercambio de las arcillas. Todas las fuentes de K soluble comúnmente usadas (incluyendo los residuos de corral, compost y abonos verdes) contienen K en forma catiónica simple (K^+). La mayoría de los fertilizantes minerales y los residuos de corral son virtualmente equivalentes como fuentes de K para la nutrición de las plantas.

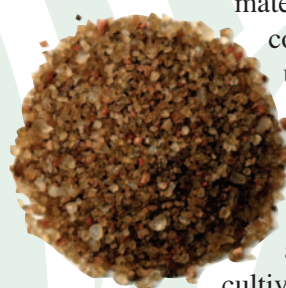
Al utilizar formas rápidamente disponibles de K, el objetivo inmediato de reemplazar el K exportado del campo con la cosecha es generalmente más importante que las pequeñas diferencias en comportamiento existentes entre las fuentes de K. Las pequeñas diferencias en el desempeño de las plantas en respuesta a la aplicación de K generalmente son causadas por los aniones acompañantes, como el cloruro (Cl^-) o sulfato (SO_4^{2-}) o por la materia orgánica que pueda acompañar el K añadido.

Por ejemplo, no existe evidencia que el sulfato de potasio (K_2SO_4) sea más efectivo que el cloruro de potasio (KCl) como fuente de K para las plantas. El azufre en forma de SO_4^{2-} y el Cl como Cl^- son nutrientes esenciales para las plantas. En algunos círculos el cloruro es calificado como dañino al suelo, pero no existe evidencia de que esto ocurra cuando se utiliza KCl dentro del rango normal de aplicaciones al suelo. En cambio, se ha documentado ampliamente el papel importante que juega el Cl en la prevención de una variedad de enfermedades que afectan a las plantas. Se ha documentado también que la salinidad derivada del uso de KCl es la misma que la salinidad producida por el K_2SO_4 en términos del efecto sobre los microorganismos comunes del suelo (Li et al., 2006), pero al mismo tiempo la adición de K disminuye los efectos nocivos de la salinidad en la actividad de los microorganismos del suelo (Okur et al., 2002).

Fuentes aprobadas y restringidas de potasio

El Programa Nacional Orgánico de los Estados Unidos y el Consejo General de Estándares de Canadá clasifican los productos como permitidos, restringidos o prohibidos para uso en la producción orgánica. Los productos permitidos son aquellos autorizados para la producción orgánica cuando se los aplica de la forma que se indique en la etiqueta. Los materiales restringidos solo pueden ser aplicados para ciertos usos y bajo condiciones específicas. Los productos prohibidos nunca pueden ser utilizados en la producción orgánica. Las propiedades y el valor de estos materiales como fuentes de nutrientes para las plantas varían considerablemente. Las siguientes fuentes de K son utilizadas en la producción orgánica.

Langbeinita (Sulfato de potasio y magnesio): Este material ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) se permite como fuente de nutrientes si se utiliza en su forma natural y si solamente ha pasado por un proceso de trituración sin más refinamientos o purificaciones. Este es un excelente producto aprobado para producción de cultivos orgánicos. Normalmente, la langbeinita contiene 18 % de K, 11 % de Mg y 22 % de S en formas rápidamente disponibles para la absorción por las plantas. La principal mina de langbeinita en América del Norte está ubicada en Nuevo México.



Estiércol y compost: Debido a que estos materiales orgánicos son extremadamente variables (materias primas y manejo distintos), las concentraciones de K son muy inestables. Los materiales orgánicos compostados son generalmente permitidos como fuentes de

nutrientes. Los residuos de corral crudos tienen restricciones en cuanto al momento de su aplicación, pero estos detalles dependen de la agencia de certificación. El K en estos materiales se encuentra mayormente en formas disponibles para las plantas, de manera similar a las fuentes inorgánicas aprobadas. Las repetidas aplicaciones de altas cantidades de residuos de corral pueden resultar en la acumulación de K en el suelo, lo que podría promover el consumo de lujo del K por la planta. Es necesario realizar un análisis químico de los residuos de corral y el compost para que el uso de estos recursos sea de máximo beneficio. Podría ser un ejercicio útil el considerar el origen del K presente en los residuos de corral y en el compost, ya que ni la digestión animal ni el compostaje producen nutrientes.

Sulfato de potasio: Se permite utilizar K_2SO_4 en la producción de cultivos orgánicos cuando éste proviene de fuentes naturales. La mayoría de la producción actual de K_2SO_4 aprobado para uso orgánico en América del Norte proviene del Gran Lago de Sal en Utah. El material no debe pasar por procesos de purificación más allá de la trituración y cernido. El uso de este producto no es permitido en algunos países europeos sin permisos especiales de la agencia de certificación. Contiene aproximadamente 40 % de K y 17 % de S.

Rocas en polvo: Se permite sin restricciones el uso de rocas minadas como grava, biotita, mica, feldespato, granito y arena verde. Existe una tremenda variabilidad en la tasa de liberación de K de estas fuentes minerales. Algunos de estos materiales son completamente inapropiados como fuentes de K para la nutrición de plantas, debido a su limitada solubilidad y a su peso y volumen, mientras que otros tendrían valor a muy largo plazo. En general, un tamaño menor de partícula permite una mayor área superficial, reactividad y tasa de meteorización. Se debe obtener información específica para cada material antes de usarlo.

Algas: Debido a que el agua de mar contiene un promedio de 0.4 g de K por litro, las algas pueden acumular K. Luego de cosechada, la biomasa de las algas puede usarse directamente como fuente de K o se puede extraer el K soluble. Estas fuentes de K son rápidamente solubles y normalmente contienen menos del 2 % de K. Si bien los productos derivados de algas son excelentes fuentes de K, la baja concentración y los altos costos de transporte pueden volver problemático su uso a nivel de campo, especialmente lejos del área de cosecha.

Silvinita (Cloruro de potasio, KCl): El KCl tiene uso restringido según los estándares del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), a menos que se trate de un material extraído directamente de una mina (como la silvinita) y que no

haya sufrido otros procesos. Se debe aplicar en una manera que minimice la acumulación del Cl en el suelo. Generalmente, solo debe usarse KCl después de consultar con la agencia certificadora. El Consejo General de Estándares de Canadá ha incluido al KCl en la lista de productos permitidos para uso en los sistemas de producción orgánica. La silvinita sin procesar normalmente contiene aproximadamente 17 % de K.

Ceniza de madera: La ceniza de árboles de madera dura sirvió como una de las primeras fuentes de K para mejorar la fertilidad del suelo. Este es un material muy variable, compuesto por los elementos que se encontraban en la madera y que no se volatilizaron con la quema. La ceniza es un material alcalino, con pH entre 9 y 13, que tiene un efecto neutralizante de entre 80 y 90 % del valor neutralizante de la cal comercial. Como fertilizante, la ceniza de madera tiene en promedio 0 % de N, 1 % de P y 4 % de K, aproximadamente. El uso de ceniza derivada de la quema de estiércoles, biosólidos, carbón mineral u otras sustancias está prohibido en la producción orgánica. Se debe revisar con las organizaciones certificadoras antes de aplicar ceniza al suelo.

Conclusiones

Los agricultores dedicados a la producción orgánica, como todo otro agricultor, necesitan que el suelo tenga un adecuado suplemento de K para producir cultivos saludables y de altos rendimientos. Existen muchas excelentes fuentes de K para reemplazar los nutrientes removidos del suelo en la cosecha. El mantener un contenido inadecuado de K en la zona radicular resulta en un deficiente uso del agua, trae problemas de plagas y enfermedades, la calidad de la cosecha disminuye y los rendimientos son menores. La determinación regular del contenido de K en el suelo por medio del análisis químico es clave para establecer los requerimientos de fertilización. Si se determina que existe necesidad de adicionar K, los productores orgánicos deben considerar primero las fuentes locales de K y luego complementar la diferencia con fuentes minerales disponibles. También se debe considerar el costo de transporte y aplicación de fuentes que tienen baja concentración de nutrientes.

Bibliografía

- Li, X.F. Li, B. Singh, and Z. Rengel. 2006. Decomposition of maize straw in saline soil. *Biol. Fertility Soils*. 42:366-370.
- Mikkelsen, R.L. 2007. Managing potassium for organic crop production. *HortTechnology* 17:455-460.
- Okur, N., M. Çengel, and S. Göçmez. 2002. Influence of salinity on microbial respiration and enzyme activity of soils. *Acta Hort* 573:189-194.*

REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

DISTRIBUCION DE NUTRIENTES EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO EN EL BRASIL

Campos Santana, R., N. Félix de Barros, R. Ferreira Novais, H Garcia Leite, e N. Brian Comerford. 2008. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 32:2723-2733.

Las prácticas de manejo forestal pueden alterar la exportación de nutrientes de un sitio. El objetivo de este trabajo fue el determinar el contenido de nutrientes en árboles de eucalipto, en diferentes regiones de Brasil. Se evaluó la influencia de algunas características climáticas en la producción y el contenido de nutrientes en la biomasa utilizando el banco de datos del Programa de Investigación de Suelos y Nutrición del Eucalipto en el Departamento de Suelos, Universidad Federal de Viçosa. Las características climáticas fueron un importante componente de los modelos. La producción de biomasa y el contenido de nutrientes estuvieron positivamente relacionados entre sí y ambos disminuyeron en las regiones con una menor disponibilidad de agua. Los datos de este estudio indican que la plantación acumula las mayores cantidades de nutrientes a los 4.5 años después de la siembra. Se acumulan 68 % de N, 69 % de P, 67 % de K, 63 % de Ca y 68 % de Mg del total de nutrientes acumulados a la edad de corte de 6.5 años. Esto significa que a partir de los 4.5 años el potencial de respuesta a la aplicación de fertilizantes es menor. El contenido estimado de nutrientes acumulados en el follaje y la corteza representan el 65, 70, 64, 79 y 79 % del N, P, K, Ca y Mg respectivamente, hasta los 6.5 años de edad. Por esta razón, la cosecha de solamente la madera representa una reducción significativa de la exportación de nutrientes, proporcionando mayor sostenibilidad a la producción de eucalipto.*

EFFECTO DE LA FERTILIZACION CON FOSFITO EN EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y COMPOSICION DEL CULTIVO DE FRESA

Moor, U., P. Pöldma, T. Tõnutare, K. Karp, M. Starast, and E. Vool. 2009. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. Scientia Horticulturae 119:264-269.

Tradicionalmente, los fosfatos (sales del ácido fosfórico, H_3PO_4) se han usado para la fertilización de cultivos y los fosfitos (sales del ácido fosforoso, H_3PO_3) se han usado como fungicidas. Al momento, varios fosfitos recomendados para uso como fertilizantes están disponibles en la Unión Europea a pesar de que la investigación conducida con fosfitos a demostrado efectos negativos de su uso en el crecimiento de la planta. El objetivo de este estudio fue el de evaluar el efecto del fosfito como fertilizante en el crecimiento rendimiento y composición de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Se condujeron experimentos con plantas frigo de la variedad Polka en el sur de Estonia en el 2005 y 2006. Se determinó el número de hojas por planta, rendimiento comercial, tamaño de la fruta, contenido de ácido ascórbico, contenido de sólidos solubles, acidez titulable, antocianinas y actividad antioxidante total. Los resultados indicaron que los tratamientos con fosfito no afectaron el crecimiento de la planta, pero la fertilización con fosfito no tuvo ninguna ventaja sobre el fosfato en términos de rendimiento. La aplicación de fosfito en forma foliar incrementó la acidez de la fruta y redujo la concentración total de sólidos solubles en el año 2006. El sumergir las plantas en una solución de fosfito antes de la siembra fue efectiva para activar los mecanismos de defenza de las plantas debido a que los contenidos de ácido ascórbico y antocianinas en la fruta se incrementaron.*

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. XI Simposio Internacional de Análisis de Suelo y Plantas

Organiza : Soil and Plant Analysis Council, Inc.
Lugar y Fecha : Santa Rosa, Ca., EEUU
 Julio 20-24, 2009
Información : Soil and Plant Analysis Council, Inc.
 : secretary@spcouncil.com
 : www.spcouncil.com

2. XVI Coloquio Internacional de Nutrición de Plantas

Organiza : IPNC
Lugar y Fecha : Sacramento, Ca., EEUU
 Agosto 26-30, 2009
Información : IPNC
 : <http://ipnc.ucdavis.edu/>
 : IPNC@plantsciences.ucdavis.edu

3. XVI Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite

Organiza : Fedepalma / Cenipalma
Lugar y Fecha : Cartagena de Indias, Colombia
 Septiembre 22-25, 2009
Información : Fedepalma
 : Tel.: 57 1 208 6300
 : www.fedepalma.org
 : www.cenipalma.org

4. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SLCS - ACCS
Lugar y Fecha : San José, Costa Rica
 Noviembre 16-20, 2009
Información : SLCS - ACCS
 : Tel.: 506 2253 7631
 : info@clacs2009.com
 : www.clacs2009.com

PUBLICACIONES DISPONIBLES

	* Nutrición y Fertilización del Mango. Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.	\$ 15.00
	* Manual de Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes. Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales.	\$ 25.00
	* Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz. Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.	\$ 15.00
	* Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.	\$ 20.00
	* Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.	\$ 20.00
	* Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.	\$ 20.00
	* Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desórdenes en Palma Aceitera. Guía de Bolsillo para técnicos a cargo del manejo de plantaciones que deseen identificar los síntomas de deficiencia en el campo, conocer algo de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse.	\$ 8.00
	* Síntomas de Deficiencias Nutricionales y Otros Desórdenes Fisiológicos en Banano. Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencias nutricionales, conocer sus causas y determinar una estrategia de prevención o recuperación.	\$ 8.00
	* Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo	\$ 15.00
	* Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del café como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.	\$ 20.00
	* Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes.	\$ 15.00
	* Nutrición de la Caña de Azúcar. Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.	\$ 8.00