INVESTIGACION INPOFOS EDUCACION

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA

RESEARCH PPI PPIC EDUCATION

INFORMACIONES AGRONOMICAS

ABRIL 2001

No. 43

EL POTASIO Y LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LA PAPA*

Joan Davenport

Introducción

El valor de mercado que obtienen los productores de papa para la industria se basa en una combinación de rendimiento y factores de calidad del tubérculo. La gravedad específica del tubérculo es un factor importante de calidad. Existe un rango óptimo de gravedad específica para la papa industrial. En general, si existe una reducción en el precio al productor, ésta se debe a que el tubérculo presenta baja gravedad específica.

Diversos factores afectan la gravedad específica de la papa. Las condiciones climáticas determinarán si una región en particular tiene un buen o mal año desde el punto de gravedad específica. Sin embargo, a través de los años se ha reconocido también la influencia del potasio (K) en la gravedad específica de la papa.

En la década de 1970, investigación conducida en Idaho, E.U. reportó que la gravedad específica de la papa se redujo cuando se incrementaba las dosis de K. El mismo estudio concluyó que la reducción en gravedad específica fue más pronunciada cuando el K se aplicó en forma de cloruro (KCl) que en forma de sulfato (K_2SO_4). En la década de 1980 y principios de la de 1990, científicos en Idaho y Oregon estudiaron la respuesta de la papa al K y encontraron una pequeña, pero estadísticamente significativa reducción en la gravedad específica del tubérculo cuando se aplicó K, pero no encontraron diferencia entre KCl y K_2SO_4. Con estos antecedentes, la Dra. Joan Davenport, profesora de suelos de la Universidad Estatal de Washington, decidió iniciar un experimento para evaluar los efectos del K en la gravedad específica de la papa.

Procedimiento experimental

Para probar el efecto de KCl y K_2SO_4 en la producción y la gravedad específica de la papa se condujo un experimento, desde 1997 a 1999, en un sitio en Quincy, Washington, E.U., que es zona de intensa producción de papa. El proyecto estudió el efecto de fertilizantes potásicos, líquidos y granulados, en la producción de papa utilizando KCl y K_2SO_4 y las variedades Russet Burbank y Norkota Russet. Se comparó un testigo sin K contra una sola dosis de K que se provenía de la recomendación basándose en el análisis de suelos. Estas dosis estuvieron entre 360 y 450 kg K_2O/ha. En el estudio se incluyeron tres formas de aplicación del fertilizante potásico: La primera todo a la

* **Tomado de: Davenport, J. 2000. Potassium and specific gravity of potato tubers. Better Crops 84 (4): 14-16.**

CONTENIDO

	Pág.
El potasio y la gravedad específica de la papa	1
Toxicidad de hierro en arroz	3
Nutrición y fertilización potásica en eucalipto	6
Reporte de investigación reciente	17
Nueva Publicación	18
Nueva Impresión	18
Cursos y Simposios	19
Publicaciones de INPOFOS	20

Editor: Dr. José Espinosa

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

siembra, la segunda con 50% a la siembra y el 50% restante en dos aplicaciones iguales, una al inicio de la tuberización y otra al inicio del engrosamiento del tubérculo y la tercera con 25% a la siembra y el 75% restante en tres aplicaciones iguales al inicio de la tuberización, al inicio del engrosamiento del tubérculo y a mediados del engrosamiento del tubérculo.

Resultados

De los tres años del estudio, 1988 fue un año muy caluroso (Figura 1) y la gravedad especifica del tubérculo fue baja en toda el área papera donde se condujo el experimento. Los resultados de los efectos de los diferentes tratamientos se presentan en la Figura 2. En los tres años de este experimento, los resultados experimentales indican que la gravedad específica de la papa fue igual cuando se fertilizó tanto con KCl como con K_2SO_4. Más aún, durante todo el estudio, la aplicación de K no redujo apreciablemente la gravedad específica de la papa en comparación con el tratamiento testigo sin K.

En 1999, existió la tendencia a una ligera reducción en gravedad específica en algunos tratamientos con aplicación de K durante la tuberización (Tabla 1). Esta reducción fue estadísticamente significativa solamente una vez con el cloruro. Más importante que el impacto de los tratamientos en la gravedad específica, esta investigación mostró que retardar la aplicación 75% del K hasta la tuberización reduce el rendimiento total de la papa.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación no concuerdan con los resultados obtenidos en la década del 70, pero si concuerdan con los datos de estudios conducidos después. El KCl no afecta la gravedad específica de la papa cuando la dosis de K recomendada se basa en el análisis de suelos. Los resultados también indican que las aplicaciones tardías de K pueden tener un efecto negativo en la gravedad específica. Además, el retardar la aplicación del 75% del K reduce el rendimiento total de tubérculos.

Cuando los análisis de suelos indican la necesidad de aplicar K, este nutriente se puede aplicar en forma de cloruro o sulfato sin afectar la gravedad específica del tubérculo. Esta investigación sugiere que el mejor rendimiento y la mejor gravedad específica se obtienen cuando se aplica todo el K a la siembra que cuando se divide la aplicación entre presiembra y tuberización. -

Tabla 1. Respuesta promedio de la gravedad específica y el rendimiento de los tubérculos de papa a diferentes tratamientos con K, en 1999.

Fuente de K	Presentación	Porcentaje de la dosis de K fraccionada	Gravedad específica	Rendimiento t/ha
Testigo	-	-	1.0775 a*	75.7 abc
Sulfato	Granular	0	1.0750 ab	78.6 a
Cloruro	Granular	0	1.0775 a	77.1 a
Sulfato	Líquido	0	1.0725 ab	73.1 bc
Cloruro	Líquido	0	1.0775 a	70.9 bc
Sulfato	Líquido	50	1.0750 ab	77.2 a
Cloruro	Líquido	50	1.0700 b	70.0 bc
Sulfato	Líquido	75	1.0725 ab	68.8 c
Cloruro	Líquido	75	1.0725 ab	60.86 d

*** Números seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes a $P_{0.05}$**

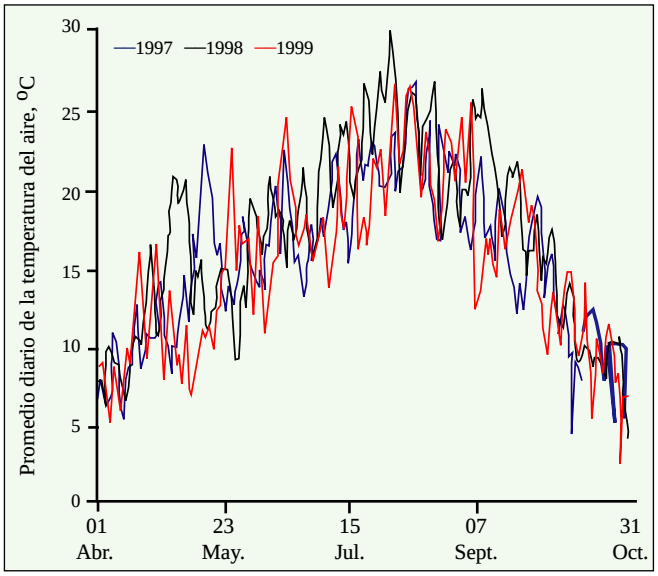


Figura 1. Promedio de la temperatura diaria del aire en Quincy, Washington, desde 1997 hasta 1999.

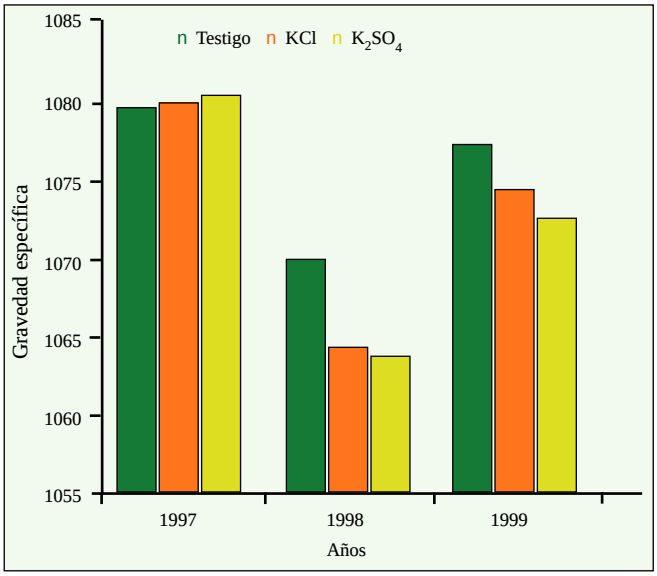


Figura 2. Promedio de la gravedad específica de los tubérculos de papa obtenidos con la aplicación de KCl y K_2SO_4

TOXICIDAD DE HIERRO EN ARROZ*

Achim Dobermann y Thomas Fairhurst

Mecanismos

La toxicidad de hierro (Fe) es causada fundamentalmente por la elevada absorción de Fe, desde la solución del suelo, donde este metal se encuentra en altas concentraciones. Las plántulas de arroz recién transplantadas pueden afectarse cuando se acumulan cantidades altas de Fe inmediatamente después de la inundación. Más adelante en el ciclo de crecimiento, las plantas de arroz se ven afectadas por la excesiva absorción de Fe^{2+}, debido al incremento en la permeabilidad de la raíz y al aumento del cambio microbiano de Fe^{3+} a Fe^{2+} (reducción) en la rizosfera. La excesiva absorción de Fe incrementa la actividad de la polifenol oxidasa, lo que conduce a la producción de fenoles oxidados, proceso que causa el bronceamiento de las hojas. Una cantidad alta de Fe en las plantas puede incrementar la formación de radicales de oxígeno, los cuales son fitotóxicos y además responsables de la degradación de las proteínas y la peroxidación de los lípidos de la membrana celular.

La susceptibilidad a la toxicidad de Fe difiere de acuerdo a las variedades. Los principales mecanismos de adaptación que hacen que las plantas logren sobreponerse a los efectos de la toxicidad de Fe son los siguientes:

Evasión del estrés por medio de la oxidación de F^{2+} en la rizosfera

Precipitación del hidróxido de hierro III (Fe^{3+}) en la rizosfera de raíces sanas (evidenciada por una capa de color café rojizo que cubre las raíces) que previene la excesiva absorción de Fe^{2+}. Sin embargo, en suelos fuertemente reducidos que contienen cantidades altas de Fe, puede no existir suficiente oxígeno (O_2) para oxidar el Fe^{2+}. En estos casos, la absorción de Fe es excesiva y las raíces toman una coloración negra por la presencia de sulfito de hierro. El poder de oxidación de las raíces incluye la excreción de O_2 por las raíces (transportado de la parte aérea a las raíces por el Parenquima) y la oxidación mediada por enzimas como la peroxidasa o la catalasa. Un inadecuado suplemento de nutrientes (K, Si, P, Ca y Mg) y cantidades excesivas de substancias tóxicas (como el H_2S) reducen el poder de oxidación de las raíces.

Tolerancia al estrés de Fe

Tolerancia al estrés de Fe que puede deberse a la evasión o a la tolerancia de la planta a la acumulación de toxinas. Otro mecanismo es la retención de Fe en los tejidos de la raíz (oxidación de Fe^{2+} y la precipitación como Fe^{3+}).

La toxicidad de Fe está relacionada con el estrés causado por la deficiencia de varios nutrientes, situación que reduce el poder de oxidación de las raíces. Las raíces de las plantas deficientes en potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca) y/o magnesio (Mg) exudan más metabolitos de bajo peso molecular (azúcares solubles, amidas, aminoácidos) que las plantas con adecuado suplemento de estos nutrientes. Durante los períodos de intensa actividad metabólica (como al macollo), esta condición resulta en un aumento de la población de rizoflora, lo cual a su vez incrementa la demanda por receptores de electrones. Esto hace que las bacterias anaeróbicas (facultativas y obligadas) reduzcan el Fe^{3+} a Fe^{2+}. La continua reducción del Fe^{3+} contenido en la capa de óxido de hierro III (Fe_2O_3) que cubre las raíces puede paralizar la oxidación del Fe, resultando en un flujo incontrolado de Fe^{2+} hacia las raíces de la planta. Una mancha negra causada por la acumulación de H_2H se presenta en la superficie de las raíces. Esta es una clara indicación de condiciones de excesiva reducción y toxicidad de Fe.

Síntomas y efectos en el crecimiento

La toxicidad de Fe se caracteriza por la siguiente sintomatología: Presencia de pequeñas manchas de color pardo que aparecen primero en las puntas de las hojas viejas. Hojas enteras de color amarillo – anaranjado a pardo. Superficie de las raíces cubiertas por una capa de color negro.

Los síntomas aparecen primero 1-2 semanas después del transplante (algunas veces en más de 2 meses). Primero aparecen pequeñas manchas pardas en las hojas viejas que se inician en las puntas y que luego se esparcen hasta la base de la hoja. Luego estas manchas se combinan, la hoja toma un color anaranjado – parduzco y después muere. Las hojas superiores son delgadas pero a menudo permanecen verdes. Cuando la toxicidad de Fe es severa las hojas toman un color púrpura – parduzco. En algunas variedades, las puntas

* **Tomado de: Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders & Nutrient management. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute.**

de las hojas presentan un color anaranjado – amarillento y se secan. La plantas de arroz son más susceptibles a la toxicidad de Fe durante las primeras etapas del ciclo de crecimiento, cuando la capacidad de oxidación de las raíces es baja.

Foto 1. Los síntomas de la toxicidad de Fe se presentan inicialmente como pequeñas manchas pardas en la punta de la hoja que luego se mueven hacia la base.

Otros efectos de la toxicidad de Fe son los siguientes:

1. Crecimiento lento y reducción significativa de los macollos.
2. Sistema radicular grueso y escaso, cubierto con una capa superficial de color pardo oscuro a negro (causadas por el H_2S) y presencia de abundantes raíces muertas. En contraste, las raíces saludables están cubiertas por una capa superficial uniforme de color pardo – anaranjado causado por la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe^{3+}.
3. Los síntomas de bronceado en las hojas pueden ser causados indirectamente por toxicidad de Fe, Mn y Al, resultando en deficiencia de P, K, Mg y Ca. Cuando las concentraciones de Fe, Mn y Al en la solución del suelo son altas, se limita el crecimiento de las raíces y éstas se cubren de una capa de óxidos de Fe^{2+} y Mn^{2+}. Esto reduce la capacidad de las raíces para absorber nutrientes.
4. La toxicidad de Fe podría estar combinada con deficiencia de Zn, cuando el bronceamiento es acompañado por un retardo en el crecimiento. El Fe compite con el Zn por los sitios de absorción y esto puede inducir la deficiencia de Zn. Sin embargo, la deficiencia de Zn es más probable en suelos alcalinos, mientras que la toxicidad de Fe ocurre en suelos ácidos a neutros con bajos contenidos de K disponible.

Foto 2. Los síntomas de toxicidad de Fe aparecen primero en las hojas viejas.

Condiciones de la planta

El contenido de Fe en las plantas afectadas es generalmente (pero no siempre) alto (300 – 2000 mg Fe/kg), pero el contenido crítico depende de la edad y el estado general de nutrición de la planta (Tabla 1). El nivel crítico es menor en suelos de baja fertilidad cuando éstos no han recibido nutrientes en forma balanceada.

Las plantas con toxicidad de Fe tienen un bajo contenido de K en las hojas (a menudo < 1%). Una relación Fe:K menor de 18:1 en la paja y menor de 1.5:1 en las raíces indica toxicidad de Fe.

Foto 3. Bajo severa toxicidad toda la hoja se afecta.

Condiciones de suelo

Se puede decir que la concentración crítica de Fe en el suelo para que ocurra toxicidad es un contenido > 300 mg de Fe/kg. La concentración crítica de Fe en la solución del suelo para que ocurra toxicidad varía ampliamente. Se han reportado valores que van de 10 a 1000 mg Fe/litro. Esto implica que la toxicidad no está relacionada solamente con la concentración de Fe en la solución del suelo. Las diferencias entre las concentraciones críticas en la solución del suelo es causada por las diferencias en el potencial de las raíces de arroz para resistir los efectos de la toxicidad de Fe, que a su vez depende del estado fisiológico y de crecimiento del cultivo y la variedad (capacidad de oxidación de las raíces).

Foto 4. Bronceado en hojas de arroz deficiente en K, incapaces de mantener un suficiente poder de oxidación en las raíces (planta de la izquierda).

No se han establecido niveles críticos para contenidos de Fe en el suelo, sin embargo, suelos con pH <5.0 (en H_2O) son susceptibles a toxicidad de Fe. De igual manera, suelos que contienen cantidades bajas de K, P, Ca y Mg son también susceptibles.

Efecto de la inundación

La concentración de Fe^{2+} en la solución del suelo es controlada por la duración de la inundación, el pH y el contenido de materia orgánica y el de Fe. En la mayoría de los suelos minerales, la concentración de Fe^{2+} llega a su nivel más alto 2-4 semanas después de la inundación. En general, el Fe^{2+} en la solución se incrementa rápidamente después de la inundación, sin embargo, los valores máximos donde aparece la toxicidad van desde <20 mg Fe/litro (en suelos calcáreos bajos en materia orgánica) hasta >1000 mg Fe/litro (en suelos ácidos). Una alta concentración de Fe^{2+} en el suelo puede retardar la absorción de K y P. Bajo condiciones de fuerte reducción, la producción de H_2S y FeS puede contribuir a la disminución del poder de oxidación de las raíces.

La oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} debido a la liberación de O_2 por las raíces, acidifica la rizosfera (importante para la absorción de P) y promueve la formación de la capa de color parduzco sobre las raíces.

Causas

Las principales causas de la toxicidad de Fe son las siguientes:

1. Concentraciones altas de Fe^{2+} en la solución del suelo debido a condiciones fuertemente reductoras y/o bajo pH.
2. Estado nutricional del cultivo pobre y desbalanceado. La deficiencia de P, Ca, Mg y K produce una baja oxidación y disminuye el poder de exclusión de Fe^{2+} de las raíces. La deficiencia de K es a menudo asociada con un bajo contenido de bases y bajo pH, condiciones que están asociadas a su vez con una alta concentración de Fe en la solución del suelo.
3. Pobre poder de oxidación radicular (exclusión de Fe^{2+}), debido a la acumulación en la rizosfera de substancias como H_2S, FeS y ácidos orgánicos, que inhiben la respiración.
4. Aplicación de altas cantidades de residuos orgánicos sin descomponer.
5. Suplemento continuo de Fe al suelo con el agua subterránea o por filtración lateral de sitios adyacentes.
6. Aplicación de desechos urbanos o industriales con alto contenido de Fe.

Ocurrencia

La toxicidad de Fe se presenta en un amplio rango de suelos, pero generalmente ocurre en suelos que tienen inundación constante durante el ciclo de crecimiento. Características comunes de los sitios donde se presenta la toxicidad son mal drenaje, baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bajo contenido de macronutrientes. Sin embargo, la toxicidad de Fe ocurre en un amplio rango de pH (4-7). Los suelos susceptibles a la toxicidad de Fe son los siguientes:

1. Suelos pobremente drenados (Aquents, Aquepts, Aquults) en valles bajos que reciben el flujo de suelos ácidos más altos.
2. Suelos caoliníticos de baja CIC y bajo contenido de P y K.
3. Suelos aluviales o coluviales ácidos y arcillosos.
4. Suelos sulfato ácidos jóvenes.
5. Suelos ácidos de zonas bajas y suelos de turba de zonas altas.

Continua... Pág. 16

Tabla 1. Rango óptimo y nivel crítico para que ocurra toxicidad de Fe.

Estado de crecimiento	Parte de la planta	Optimo	Nivel crítico para toxicidad
		mg/kg	
Macollo al inicio de la planta	Hoja bandera	100-150	>300-500

NUTRICION Y FERTILIZACION POTASICA EN EUCALIPTO*

Introducción

Uno de los nutrientes que limita la productividad del eucalipto en Brasil es el potasio (K). Investigación conducida en el Estado de Sao Paulo, en las regiones de Angatuba, Capao Bonito, Mogi-Guacu, Casa Branca, Itirapina, Itatinga y Lencois Paulista, ha demostrado que todos los bosques de Eucalipto presentan deficiencia de K, independientemente del material genético. Tomando en consideración las extensas plantaciones de *Eucaliptus* spp, y que la mayor parte de ellas se desarrolla sobre suelos arenosos de baja productividad, la producción rentable hace necesario adoptar algunas medidas de manejo como las que se mencionan a continuación:

- Selección de genotipos eficientes para absorber y utilizar K.
- Determinar la dosis de K más económica y adecuada en función al tipo de suelo y material genético.
- Monitoreo nutricional en bosques con edades entre 12 a 24 meses para identificar deficiencias nutricionales.
- Determinar la mejor época de aplicación de K para la corrección de la deficiencia.
- Evaluar el efecto de las relaciones de K con otros nutrientes, especialmente de calcio (Ca) y magnesio (Mg), en la productividad.
- Verificar la relación entre la fertilización potásica y la calidad del producto forestal.

El objetivo de este artículo es presentar información sobre la fertilización y nutrición potásica en *Eucalyptus* spp, que se puede adjuntar a la planificación futura de investigación y al diseño de recomendaciones de fertilización.

Función del K en la planta

El K no forma parte de ningún compuesto orgánico, ni toma parte en ninguna función estructural en la planta. Este nutriente actúa en la activación de aproximadamente 50 enzimas, como las sintetasas, oxireductasas, deshidrogenasas, transferasas, quinasas y aldolasas. El K está involucrado en la síntesis de proteínas y por esta razón, las plantas que presentan bajo contenido de K tienen bajo contenido proteico y acumulan compuestos de bajo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas y nitratos.

El K actúa en el control osmótico de las células. Plantas deficientes en K presentan menor turgencia, pequeña expansión celular, mayor potencial osmótico e irregular apertura y cierre de los estomas. Otro efecto atribuido al K es que las plantas bien nutridas son más resistentes a la sequía y a las heladas, función asociada a su mayor retención de agua.

El K está involucrado, además, en los mecanismos de defensa de la planta a las plagas y enfermedades. La incidencia y la severidad de los daños causados por insectos y hongos se reducen notablemente en plantas bien nutridas con K. Esto se debe a que altas concentraciones de K en los tejidos favorecen las síntesis y acumulación de compuestos fenólicos, los cuales actúan como inhibidores de insectos y hongos. Además, las plantas deficientes en K presentan tejidos menos tupidos, como consecuencia del menor espesor de la cutícula y de la pared celular, menor formación de tejido esclerenquimatoso, menor lignificación y suberización. Plantas bien nutridas con K presentan mayor síntesis de material para la formación de la pared celular. Frecuentemente, las paredes celulares son más espesas debido a la mayor deposición de celulosa y compuestos relativos, promoviendo mayor estabilidad y un incremento de la resistencia de las plantas al acame y a las infestaciones por plagas y enfermedades (Pret, 1982, Beringer y Nothdurft, 1985).

Más aún, con deficiencia de K ocurre menor síntesis de compuestos de alto peso molecular (proteína, amido y celulosa), favoreciendo la acumulación de compuestos de bajo peso molecular (azúcares solubles, aminoácidos y N soluble) como resultado del incremento de la actividad de las enzimas amilasa, sacarosa, glucosa y proteasa. La acumulación de estos compuestos altera el equilibrio osmótico de las células y los exudados liberados por las plantas tienen mayor concentración de estos compuestos, situación que favorece el desarrollo de plagas y enfermedades.

Debido a que el K está involucrado en la fotosíntesis, la deficiencia de este nutriente produce una reducción en la tasa fotosintética por unidad de área foliar y también mayor tasa de respiración. La combinación de estos factores reduce las reservas de carbohidratos de la planta. Un suplemento inadecuado de K también hace que los estomas no se abran apropiadamente, lo que da como consecuencia una menor asimilación de CO_2 en los cloroplastos, disminuyendo consecuentemente la tasa fotosintética.

*** Adaptado de: Arruda, S. R., y E. Malavolta. 2001. Nutricao e adubacao potassica em *Eucalyptus*. Informacoes Agronómicas, POTAFOS. Encarte Técnico 91:1-10.**

Foto 1. Deficiencia de K en hojas de *E. citriodora* caracterizada por la necrosis de los márgenes.

Foto 2. Progresión de los síntomas de deficiencia de K en *E. urophylla* conforme a la posición de las hojas (Silveira et al., 1999).

Foto 3. Hojas de *E. grandis* con amarillamiento marginal por deficiencia de K (Silveira et al., 1999).

El K actúa en el metabolismo (activación de enzimas que promueven la formación) y transporte de carbohidratos. Plantas deficientes en K, normalmente acumulan hexosas y se reduce la concentración de carbohidratos de mayor cadena como amido y sacarosa en las hojas, como consecuencia de la menor actividad de la síntesis de la fosfato sacarosa. Existe una relación inversa entre la concentración de K y el contenido de azúcares en los tejidos.

El K juega un papel importante en el transporte de la sacarosa y de los productos de la fotosíntesis de las hojas hacia los órganos de almacenamiento. En ese trayecto, los productos asimilados pasan por tres procesos: a) Difusión en el simplasto y espacio libre, b) transporte activo a través de la membrana citoplasmática hacia el floema, c) Flujo pasivo por los tubos cribosos. El K tiene influencia en los tres procesos, pero en particular sobre los dos últimos. En relación al último proceso, se afirma que la función del K es el mantener un pH alto en los tubos cribosos, facilitando así el transporte de la sacarosa. Por lo tanto, un suplemento adecuado de K incrementa la síntesis de carbohidratos en razón de la mayor tasa fotosintética y además incrementa la eficiencia de traslocación de esos compuestos dentro de la planta.

Síntomas de deficiencia de K

El K posee una alta capacidad de redistribución en los tejidos, por ello los síntomas de deficiencia surgen en las hojas más viejas. Al inicio de la deficiencia aparecen manchas cloróticas en los espacios entre las nervaduras que se esparcen irregularmente por toda la superficie foliar. Con la evolución de la deficiencia, las manchas se unen formando fajas cloróticas o rojizas en los márgenes de las hojas viejas, con la posterior necrosis de estos tejidos. En un estado más avanzado, la clorosis y necrosis se presentan en las hojas más jóvenes, mientras que las hojas más viejas se enrollan y se secan. Las plantas también pueden presentar un incremento de las brotaciones laterales y la paralización del desarrollo vegetativo. En las Fotos 1 a 5 se muestran los síntomas de deficiencia de K en algunas especies de *Eucalyptus*.

Exigencias nutricionales de *Eucalyptus* en relación al K

Contenido y eficiencia de la utilización de K

Los bosques de Eucalipto en Brasil se concentran en suelos de baja fertilidad (Tabla 1). La cantidad de K disponible en los primeros 20 cm (15 a 50 kg K ha^{-1}) de la mayoría de los suelos forestales es insuficiente para atender la demanda promedio del eucalipto de 8 años de edad (140 a 340 kg K ha^{-1}), como se observa en la Tabla 2. Además, la eficiencia de la fertilización potásica en estos suelos es baja, por la significativa lixiviación debido a que son suelos altamente meteorizados, de textura arenosa con baja capacidad de intercambio catiónico.

La Tabla 3 muestra el contenido de K, la producción de materia seca total y la eficiencia de la utilización de K en cultivos de *E. grandis*. Se ha encontrado diferencia significativa entre clones de *E grandis* con relación a la eficiencia de K. El clon más eficiente presentó una conversión de 114.7 mg de MS por cada mg de K, y el menos eficiente una de 87.7 mg de MS por mg de K.

El contenido de K en diferentes partes de la planta y en varias

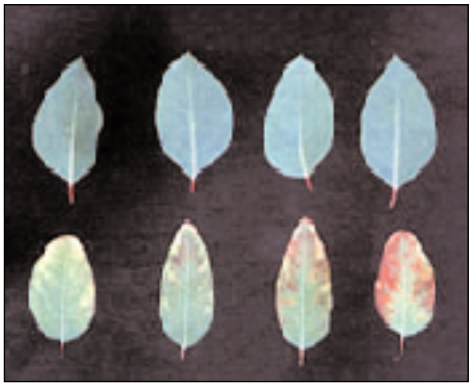


Foto 4. Hojas de *E. urophylla* con clorosis y amarillamiento marginal causados por deficiencia de K, comparadas con hojas normales (Silveira et al., 1999).

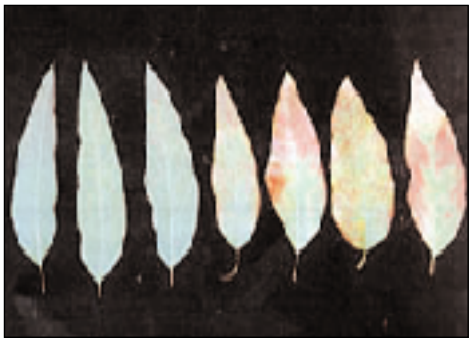


Foto 5. Progresión de síntomas foliares de K en *E. grandis* (Silveira et al., 1999).

especies de *Eucalyptus* se presenta en la Tabla 3. Se nota una gran variación del contenido de K en función de la especie, edad, fertilidad del suelo, productividad y localización. Los valores promedios muestran que cerca del 24% del contenido total se encuentran en las hojas, 16% en las ramas, 20% en la corteza y 40% en la madera.

La eficiencia de la utilización de un nutriente resulta de la relación entre la materia seca y el contenido del nutriente en la planta. Este índice es el resultado de la evolución de las especies frente a ambientes distintos. Se ha demostrado que no existe necesariamente una relación directa entre la producción de biomasa y la eficiencia de utilización de los nutrientes.

Cada material genético tiene diferente habilidad para usar uno u otro nutriente. Además, considerando la vasta diversidad ambiental encontrada en la región de origen de las especies de *Eucalyptus* se espera que ocurra una gran diferencia en cuanto a eficiencia de absorción y utilización de los nutrientes por los materiales genéticos de *Eucalyptus*. En este sentido se han constatado diferencias significativas entre 15 clones de *E. grandis* plantados en la región de Cuartel General, MG, Brasil. Las variaciones fueron del orden de 541 a 937 kg de MS de tronco producida por cada kg de K absorbido.

También se ha demostrado mayor eficiencia de uso de K del *E. saligna* en relación al *E. citriodora*, es decir, 1715 kg de madera producida por cada kg de K en el primero contra 1072 en el segundo. Se ha observado que el *E. saligna* es mucho más eficiente en la utilización de Ca y Mg para la producción de madera (2575 y 7500 kg de madera por cada kg de Ca y Mg absorbido, respectivamente) cuando se compara el

Tabla 1. Características de algunos suelos forestales del Estado de Sao Paulo Brasil (0-20 cm de profundidad).

Suelo	pH $CaCl_2$	MO g dm^{-3}	P mg dm^{-3}	K	Ca	Mg	CIC	K/CIC %	K kg ha^{-1}
				--------- $mmol_c$ dm^{-3} --------					
AQ[1]	3.7	12	9	0.5	3	1.5	37	1.3	39
AQ[1]	3.8	14	4	0.4	4	1.0	34	1.2	31
AQ[1]	3.6	17	3	0.2	2	1.0	45	0.4	16
LVE álico[2]	3.9	21	4	0.4	1	1.0	-	-	31
LR álico[3]	3.8	38	4	0.3	2	1.0	101	0.3	23
LVA[4]	3.4	19	5	0.6	3	2.0	70	0.9	47

1 = Arena cuarzosa; 2 = Latosol pardo oscuro; 3 = Latosol rojo; 4 = Latosol pardo amarillo

Tabla 2. Productividad de los bosques de eucalipto y contenidos respectivos de potasio.

Especie	Edad años	Sitio	Contenido de K Hojas	Ramas	Corteza	Madera	C+M	Total	Producción MS t ha^{-1}	Vol. m^3ha^{-1}
			---------- kg ha^{-1} ----------							
E. grandis	6	M. G., Brasil	35	38	66	51	117	190	85	-
E. grandis	6	S. P., Brasil	28	23	-	-	194	245	249	-
E. grandis	20	Australia	108	103	92	271	363	574	-	-
E. fastigata	4	N. Zelanda	96	48	26	77	103	246	62	-
E. nitens	4	N. Zelanda	82	53	52	120	172	306	82	-
E. saligna	8	Australia	54	50	62	137	199	303	130	211
E. saligna	9	M. G., Brasil	28	23	29	61	90	141	-	289
E. citriodora	9	M. G., Brasil	141	25	78	102	165	335	-	195

Tabla 3. Producción de materia seca total, contenido y eficiencia de potasio en *Eucalyptus grandis*.

Especie	Edad días	Sitio	Contenido de K					
			Hojas	Tronco	Raíces	Total	MST[1]	EKT[2]
			mg planta^{-1}				g planta^{-1}	
Clon – Procedencia Chisengu[3]	62	Invernadero	88.1	30.9	39.4	158.4	11.4	72.0
Clon – Prodecencia Mechece[3]	62	Invernadero	92.9	38.2	41.6	172.7	13.7	79.3
Clon – Procedencia Peñalonga[3]	62	Invernadero	94.9	46.9	52.6	194.4	14.7	75.6
Clon – Procedencia Tilbury[3]	62	Invernadero	109.1	39.6	33.7	182.4	13.9	76.2
Clon – Procedencia Bofete	97	Vivero	7.0	5.0	3.0	15.0	2.1	140.0
Clon A7	90	Vivero	3.4	2.9	1.2	7.5	0.86	114.7
Clon C4	90	Vivero	3.7	4.3	1.7	9.7	0.88	90.7
Clon D19	90	Vivero	4.1	4.1	1.6	9.8	0.86	87.7
Clon F40	90	Vivero	3.7	2.5	0.9	7.1	0.66	92.9

1 = Materia seca total; 2 = Eficiencia de la utilización de K (mg MST/mg K); 3 = Media de varios clones.

E. citriodora (478 y 3374 kg de madera por cada kg de Ca y Mg absorbido, respectivamente).

En la región de Santa Barbara, MG, Brasil se observó que *E. grandis* con 31 meses de edad, produjo 552 kg de MS de tronco por cada kg de K contenido en la planta. Para edades más avanzadas (9 años) se han encontraron valores de eficiencia de utilización de K más altos (1667 kg de tronco por cada kg de K en *E. saligna* y 1005 kg de tronco por cada kg de K en *E. citridora*). Resultados similares se reportaron en la región de Itamarandiba, MG con valores de eficiencia de utilización de K de 1300 kg de tronco por cada kg de K absorbido en *E. grandis* a los 78 meses de edad.

Al estudiar la eficiencia de utilización de K en 5 especies de Eucalyptus, se observó que *E. grandis* fue la especie más eficiente, seguida en orden decreciente por *E. saligna*, *E. dunni*, *E. propinqua* y *E. robusta*. Otros estudios también constataron que *E. grandis* era el menos exigente y el más eficiente en el uso de nutrientes al compararlo con *E. salignata* y *E. europhylla*.

Se ha reportado variabilidad en la producción de materia seca y en la extracción de nutrientes por *E. grandis* de 8 años de edad en dos regiones bioclimáticas diferentes. Se observó que en la región de Vicosa, MG, hubo mayor producción de materia seca y mayor extracción de nutrientes, en comparación con la región de Paraopeba, MG. Esto se debe a que las condiciones edafoclimáticas de Vicosa se parecen a las del sitio de origen de esa especie, es decir, mayor disponibilidad de agua y nutrientes comparadas con las de la región de Paraopeba. Las extracciones totales de nutrientes (en kg ha^{-1}) para Vicosa y Paraopeba fueron las siguientes: 1313 y 458 de N; 56 y 30 de P; 753 y 208 de K; 775 y 309 de Ca; 344 y 81 de Mg, respectivamente. Como se puede ver, el K es el tercer nutriente extraído, después del N y Ca.

Resultados semejantes con *E. grandis* de 6 años de edad se obtuvieron en la región de Mogi Guacu, SP, confirmando que el K es el tercer nutriente extraído. Las cantidades de nutrientes extraídas (en kg ha^{-1}) por la parte aérea fueron las siguientes: 473 de N, 32 de P, 245 de K, 555 de Ca, 126 de Mg y 159 de S. En este estudio las cantidades porcentuales de N, P, K, Ca, Mg y S presentes en el tallo (leño más corteza) en relación al total fue de 73, 73,79, 72, 84 y 86, respectivamente.

Rangos adecuados y deficientes de nutrientes en Eucalipto

En la Tabla 4 se presentan rangos adecuados y deficientes de macro y micronutrientes en hojas de Eucalipto, de acuerdo con varios autores. Malavolta et al. (1997) indican que los contenidos de macro (g kg^{-1}) y micronutrientes (mg kg^{-1}) asociados a altas producciones de *E. grandis* son las siguientes: N = 21 - 23; P = 1.3 - 1.4; K = 9 - 10; Ca = 5 - 6; Mg = 2.5 - 3; S = 1.5 - 2.5; B = 25 - 30; Cu = 7 - 10; Fe = 100 - 140; Mn = 300 - 400 y Zn = 12 - 17.

Un levantamiento de las frecuencias de las deficiencias nutricionales en bosques plantados con Eucaliptos por 22 empresas forestales en Brasil concluyó indicando que las deficiencias de K, P y B son las más comúnmente encontradas (Figura 1).

En la Tabla 5 se presentan los rangos adecuados y deficientes de K en las hojas de varias especies de Eucalipto en fase adulta y juvenil. Se nota que existe gran variación en la concentración adecuada de K en función del material genético. Por ejemplo, para el *E. grandis* en la fase juvenil, el rango adecuado está entre 3.3 y 8.1 g de K kg^{-1} (Figura 2), para el *E. urophylla* de 15 a 18.

Tabla 4. Interpretación de los análisis foliares del Eucalipto de acuerdo a diferentes fuentes.

Elemento	Boardman et al. (1997)[1]	Dell et al. (1995)[1]	Goncalves (1995)[2]	Silveira et al. (1991)[1]	Malavolta et al. (1987)[2]	Boardman et al. (1997)[3]	Silveira et al. (1999)[1]
	Rangos adecuados				Rangos deficientes		
	g kg^{-1}						
N	16-29	18-34	13.5-18.0	22-27	8-13	<15	<16
P	1-3	1.0-2.2	0.9-1.3	1.7-2.2	0.4-0.8	<0.7	<1.1
K	6-18	9-18	9-13	8.5-9.0	6-8	<5	<7.0
Ca	2-4	3-6	6-10	7.1-11.0	2-4	<1	<5.5
Mg	1-3	1.1-2.1	3.5-5.0	2.5-2.8	1.5-2.0	<0.6	<2.1
S	1.5-2.0	1.5-2.3	1.5-2.0	1.5-2.1	0.8-1.2	<1	<1.3
	mg kg^{-1}						
B	15-100	15-27	30-50	34-44	15-20	<8	<21
Cu	4-12	2-7.4	7-10	6-7	4-6	<2	<4
Fe	50-156	63-128	150-200	65-125	75-100	-	-
Mn	190-700	193-547	400-600	200-840	<100	-	-
Zn	15-46	17-42	35-50	15-20	20-30	<7	<7

1 = *E. grandis* estado adulto; 2 = *Eucalyptus* spp; 3 = *E grandis* estado juvenil.

Tabla 5. Rangos de las concentraciones de potasio en las hojas recién maduras de Eucalipto en estado juvenil y adulto.

Especie	Rango deficiente	Rango adecuado	Fuente
	g kg^{-1}		
	Estado juvenil		
E. globulus	4-5	10-15	Dell et al., 1995
E. globulus	<4	8-12	Boardman et al., 1997
E. grandis	-	3.3-8.1	Novais et al., 1980
E. grandis	<5	12-14	Dell et al., 1995
E. cloeziana	-	7.0-13.8	Novais et al., 1980
E. pellita	3-4	9-15	Dell et al., 1995
E. urophylla	3-5	15-18	Dell et al., 1995
E. urophylla	-	8-14	Houran & Wenlong, 1996
E. pilularis	<3	3.5-5.0	Cromer et al., 1981
E. saligna	-	11	Yost et al., 1987
E. camaldulensis	-	6-10	Boardman et al., 1997
E. maculata	<4	10-17	Dell, 1996
	Estado adulto		
E. saligna	<6	8.5-10	Silveira et al., 1998
E. grandis	<7	8-10	Silveira et al., 1998
E. grandis	5-6	9-18	Dell et al., 1995
E. grandis	<5	6-18	Boardman et al., 1997
E. globulus	<4.5	5-12	Boardman et al., 1997
E. grandis x E. urophyla	2-6	9-15	Dell et al., 1995
Eucalyptus spp	6-8	10-12	Malavolta, 1987
E. globulus	4-7	9-11	Dell et al., 1995
E. camaldulensis	<6	6-8	Boardman et al., 1997
E. urophyla	-	8-14	Dell et al., 1995
E. dunnii	-	8-15	Boardman et al., 1997

En el Cerrado de Sao Paulo, se encontraron correlaciones significativas entre el contenido de K en el suelo y en las hojas y entre éstos y la altura de las plantas de *E. grandis*. En sitios de alta producción, en la región de Capao Bonito, SP, también se encontró una relación lineal entre la concentración foliar de K y el volumen de madera de *E. grandis* de 2 años de edad (Figura 3).

Un levantamiento del estado nutricional y de la fertilidad del suelo en plantaciones de *E. grandis* de 3 años de edad, en 5 localidades del Estado de Sao Paulo (Mogi-Guacu, Casa Branca, Itirapina, Itatinga y Angatuba) encontró también correlaciones positivas entre el contenido de K y Mg en las hojas y altura de las plantas. Más aún, se determinó que los árboles están adecuadamente nutridos cuando tienen concentraciones foliares de 2.6 a 3.2 g de Mg kg^{-1} y mayores que 7.5 g de K kg^{-1}.

Se ha determinado que la relación foliar N/K y K/P óptimas para el crecimiento del *E. grandis* es de 3.5 y 5.0, respectivamente. La mayor productividad de *E. grandis* de 2 años de edad (75 a 95 st ha^{-1} $año^{-1}$), en la región de Lencois Paulista, SP, estuvo asociada a relaciones K/Ca foliares en el rango de 1.3 a 1.5 y que relaciones menores a 1.0 reducen significativamente la producción (Figura 4).

Interacción del K y otros nutrientes

Los efectos entre K, Ca y Mg ocurren en forma de

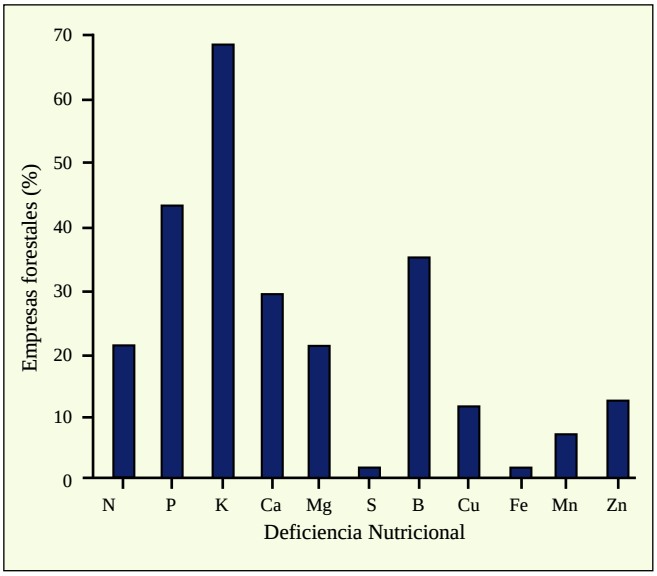


Figura 1. Frecuencia de los síntomas de deficiencia nutricional en eucaliptos, en 22 empresas forestales consultadas.

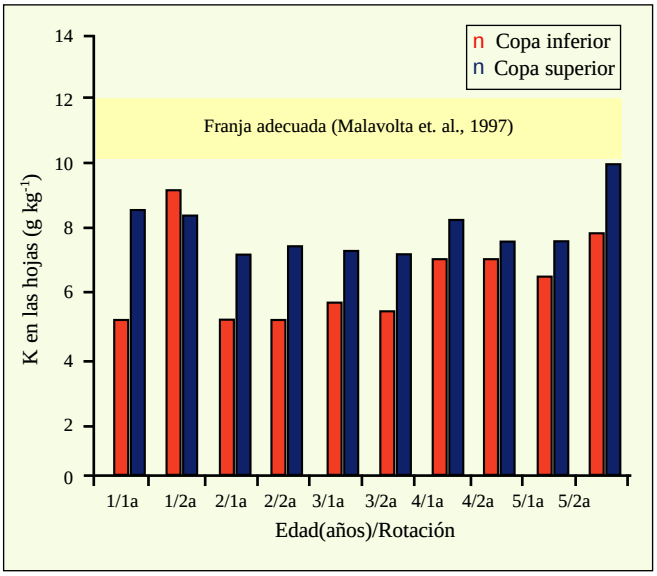


Figura 2. Concentración de K en la parte superior e inferior de la copa de *E. grandis* en función de la edad y de la rotación, en la región de Itatinga, SP, Brasil.

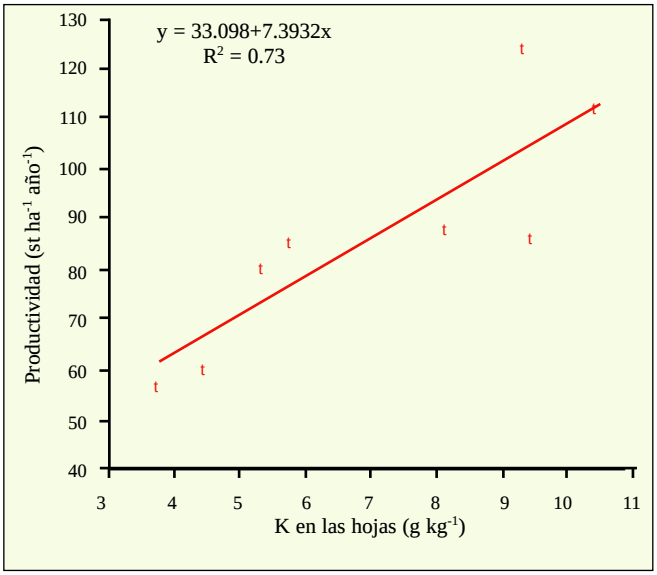


Figura 3. Relación entre la concentración de K en las hojas y la producción de *E. saligna*, en la región de Capao Bonito, Sp, Brasil.

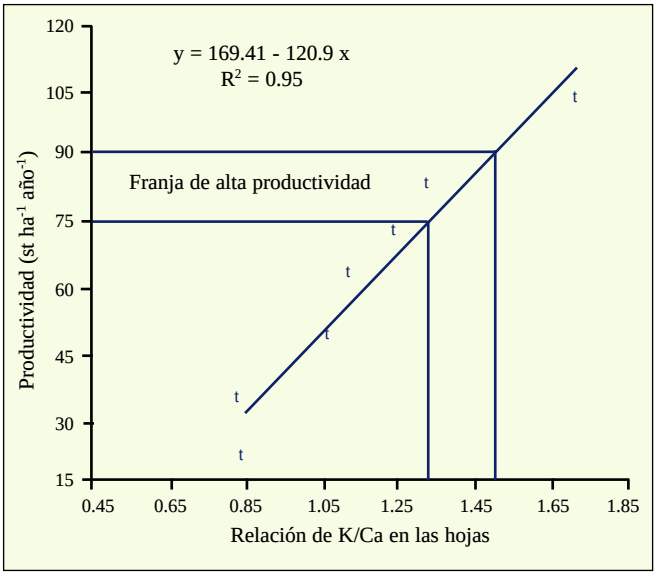


Figura 4. Efecto de la relación K/Ca de las hojas en la producción de *E.grandis* en la región de Lencóis Paulista, SP, Brasil.

inhibición competitiva, normalmente a nivel de membrana celular. Este proceso ocurre cuando 2 elementos se combinan por el mismo sitio activo del cargador. Un ejemplo clásico se presenta cuando dosis altas de K inhiben la absorción de Ca y Mg, llegando muchas veces a presentarse deficiencias de estos dos nutrientes con la consecuente reducción de la producción. Además, los cationes como el K pueden atravesar la membrana plasmática con mayor velocidad, deprimiendo la absorción de cationes más lentos como el Ca y Mg. La absorción preferencial del ion K^+ se debe a su naturaleza química monovalente y de menor grado de hidratación en comparación con los cationes divalentes.

Un estudio del efecto de la aplicación de fertilizantes sobre los contenidos foliares de nutrientes en *E. grandis* demostró que la aplicación de K reduce los contenidos de Ca, Zn y Fe y no afecta los de Mg, mientras que la fertilización fosfatada y la aplicación de cal reducen los contenidos de K en las hojas. Una evaluación del crecimiento de plantas *E. camaldulensis* y *E. grandis* y la absorción de K, Ca y Mg, en respuesta a la aplicación de K en el suelo (0, 30, 90, 180 y 270 mg kg^{-1}) y la adición de cal con diferentes relaciones Ca/Mg encontró que la dosis de K para obtener 90% de producción máxima, en presencia del correctivo, fue de 60.7 y 50.7 mg de K kg^{-1}, para *E. camaldulensis* y *E. grandis*, respectivamente. Además se observó que con el incremento en el nivel de cal es necesario una mayor cantidad de K, para mantener el balance catiónico y promover mayor producción de materia seca.

Respuesta de *Eucalyptus* a la aplicación de K

El Eucalipto responde a la aplicación de K en suelos con contenidos de 0.2 hasta 1.0 mmol de K dm^{-3}, y no existe respuesta en suelos con contenidos mayores. Cuando se presentan respuestas, estas ocurren en condiciones de una estrecha relación Ca:Mg (<1 unidad) o por los elevados valores de Ca + Mg en el suelo (>8 $mmol_c$ dm^{-3}). Se ha sugerido un nivel crítico de K en el suelo para *E. grandis*, en la fase inicial de crecimiento y cuando el suelo es pobre en Ca y Mg, es 0.23 $mmol_c$ dm^{-3} (extractante Mehlich 1). Para *E. cloeziana*, los valores están entre 0.28 a 0.79 $mmol_c$ dm^{-3}, los valores más altos se obtuvieron en suelos que recibieron encalado. Tomando en cuenta el nivel crítico de K en el suelo para el crecimiento de *E. grandis*, los niveles para la obtención del 90% de producción máxima fueron de 1.20 a 1.33 $mmol_c$ dm^{-3} para suelos de textura media a arenosa y 1.87 a 2.18 $mmol_c$ dm^{-3} para los de textura arcillosa.

Un estudio que evaluó el efecto de las dosis en kg ha^{-1} de N (0, 33 y 66), P_2O_5 (0,100 y 200), K_2O (0, 33 y 66) y cal dolomítica (0 y 2 t ha^{-1}) en la producción de *E. grandis* plantado en suelos arenosos en la región de Luis Antonio, SP. No se encontraron incrementos en la producción de madera con la aplicación de N y P. En cambio con K se obtuvo un efecto cuadrático y la máxima producción (86 st ha^{-1}) se obtuvo con la dosis estimada de 61 kg K_2O ha^{-1}. El *E. grandis* también respondió a la aplicación de cal, con un incremento del 13% en el volumen de madera en relación a los tratamientos que no recibieron encalado. También se estudió el efecto del fraccionamiento de dosis de K (0, 50 y 100 kg de K_2O ha^{-1}) en los cinco primeros años de la plantación, en un Latosol Rojo Oscuro álico. El mayor incremento en rendimiento se obtuvo con aplicación de 50 kg de K_2O ha^{-1} fraccionados anualmente en los 4 o 5 primeros años, mientras que en un suelo arenoso el mejor rendimiento se obtuvo con aplicación de 100 kg de K_2O ha^{-1}, fraccionados en dosis iguales en los 5 primeros años o fraccionado en dosis crecientes en los 4 primeros años.

La necesidad de K aumenta con la acumulación de biomasa y por tanto con la edad de la planta de Eucalipto. En el cultivar *E. urophylla*, los síntomas de deficiencia de K son los últimos en aparecer. Las plantas jóvenes requieren poco K y suelos con niveles de K alrededor de 0.51 mmol dm^{-3} (20 mg kg^{-1}) son suficientes para el crecimiento inicial. Sin embargo, se han encontrado respuestas a la aplicación de K (27 g K_2O $planta^{-1}$) en *E. saligna* cultivado en suelo con 0.67 $mmol_c$ de K dm^{-3}, incrementando en 67% el volumen de madera a los 78 meses de edad. Resultados semejantes se obtuvieron al estudiar el efecto de la aplicación de K (0, 60, 120, 180 y 240 kg de K_2O ha^{-1}) en la producción de biomasa de *E. grandis* cultivado en el suelo con 0.54 $mmol_c$ de K dm^{-3}. Además, se observó que se obtuvo la producción máxima a los 6.5 años con la dosis de 179 kg de K_2O ha^{-1}, la cual incrementó en 63% la producción al compararla con el testigo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en *E. grandis*, en condiciones de segunda rotación en un suelo Podzólico Rojo-Amarillo, distrófico, de textura arenosa con un contenido de 0.35 mmol de K dm^{-3} y otro Podzólico Rojo-Amarillo, textura media areno arcillosa con 1.7 mmol de K dm^{-3}, al estudiar el efecto de la aplicación de dosis de K (0, 60, 120, 180, 240 y 360 kg de K_2O ha^{-1}). Se observó respuesta a la aplicación de K hasta 256 kg de K_2O ha^{-1}, en el suelo más pobre en K, con un incremento de 118% en el volumen de madera en relación al testigo (Figura 5). La dosis de K_2O para la obtención de 90% de la producción máxima fue de 145 kg ha^{-1}. Sin embargo, en suelos con niveles más elevados de K no existe respuesta a la adición de ese nutriente.

Se obtuvieron resultados similares en poblaciones de *E. grandis* localizadas en suelos con bajo contenido de K intercambiable (0.7 mmol dm^{-3}) en la región del Valle del Paraíba, con respuestas a niveles de hasta 206 kg de K_2O ha^{-1} en un Podzolico Rojo-Amarillo textura arcillosa y de hasta 240 kg ha^{-1} en un Latosol Rojo-Amarillo textura media (Figura 6). En otro estudio, se observó que la dosis para alcanzar el 90% de producción máxima de madera de *E. grandis*, a los 6.5 años de edad, fue de 108 kg de K_2O ha^{-1}, en suelos del cerrado de Itamarandiba, MG (Figura 7), cuyo contenido original de K era de 0.59 mmol dm^{-3}. En este estudio, la ganancia en producción con la aplicación de K fue de 92% cuando se comparó la dosis de 200 kg de K_2O ha^{-1} con el testigo. La Figura 8 demuestra que la biomasa de *E. grandis* con 6.5 años de edad se duplicó con la aplicación de K en un suelo cuyo contenido fue de 0.6 mmol K dm^{-3}).

Recomendaciones de fertilización potásica

Tomando en cuenta la información disponible, se recomienda el cálculo y la aplicación de las dosis de K_2O en función del contenido de K intercambiable del suelo como se ilustra en la Tabla 6.

Consideraciones finales

1. Es común el encontrar deficiencias de K en plantaciones de Eucalipto que se caracterizan por una clorosis seguida de necrosis marginal de las hojas viejas.

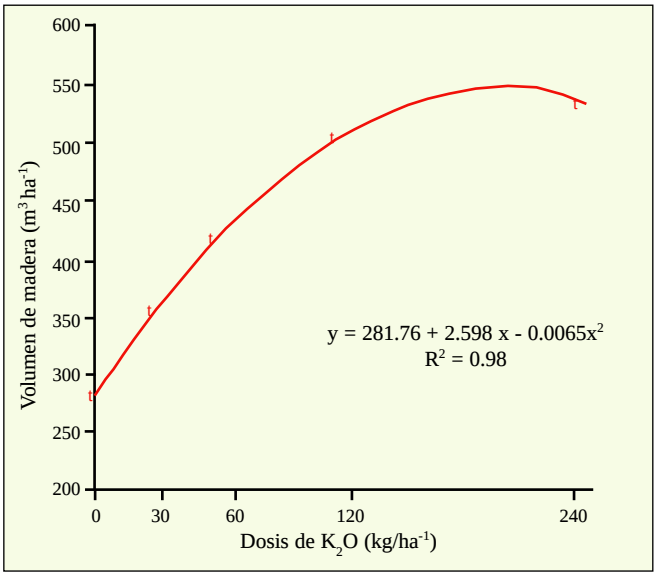


Figura 5. Volumen de *E. grandis* a los 6.5 años de edad en la región de Itamarandiba, MG, Brasil, en función de las dosis de K.

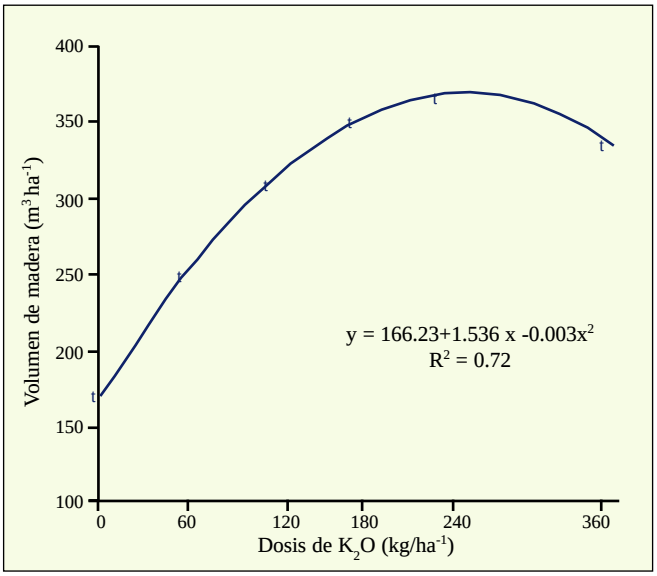


Figura 6. Volumen de *E. grandis* a los 5 años de edad, en condición de segunda rotación en la región de Angatuba, SP, Brasil, en función de las dosis de K.

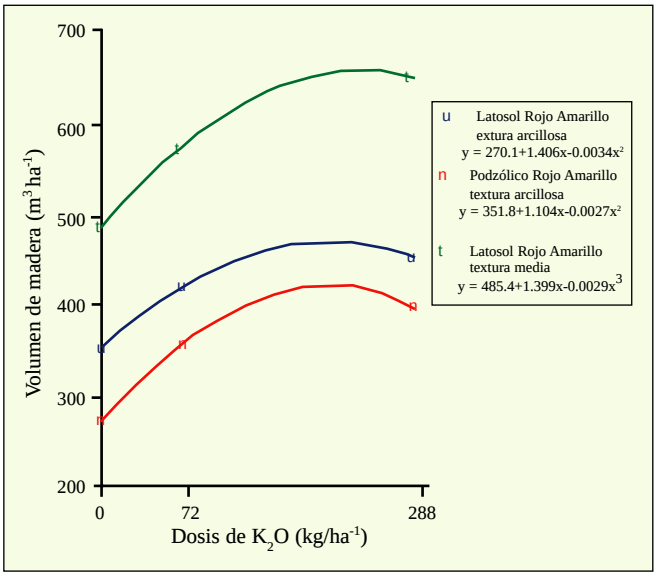


Figura 7. Volumen de *E. grandis* a los 4 años de edad en diferentes tipos de suelos, en la región de Valle de Paraíba, en función de las dosis de K.

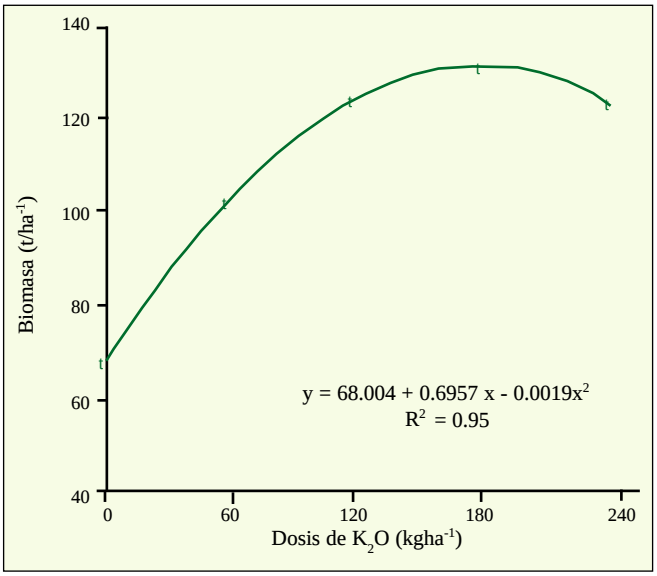


Figura 8. Biomasa de la parte aérea de *E. grandis* a los 6.5 años, en función de las dosis de K.

2. El contenido de K, en la mayoría de suelos forestales, a profundidades de 0-20 cm no es suficiente para atender la demanda de las especies de Eucalipto durante el ciclo de producción.

3. El Eucalipto responde bien a aplicaciones de K en suelos cuyo contenido no excede 1.0 mmol dm^{-3}. En suelos con contenido más elevado de K, la respuesta no es consistente.

4. La dosis económica de K_2O en suelos con bajo contenido de K debe situarse entre 120 y 180 kg K_2O ha^{-1}.

5. Información actual sobre la nutrición y fertilización potásica del Eucalipto demuestra que existe necesidad de investigación adicional para seleccionar material genético productivo y eficiente para absorber y utilizar mejor el K, determinar las dosis económicas de K_2O en función del tipo de suelo y del genotipo, verificar si existe relación entre la fertilización con K y la calidad del producto, monitorizar el estado nutricional para detectar deficiencias nutricionales. Todo esto permitirá la corrección oportuna de la deficiencia de K y su efecto en la reducción del rendimiento y permitirá establecer la influencia de la relación del K con otros nutrientes, especialmente Ca y Mg, en la producción.

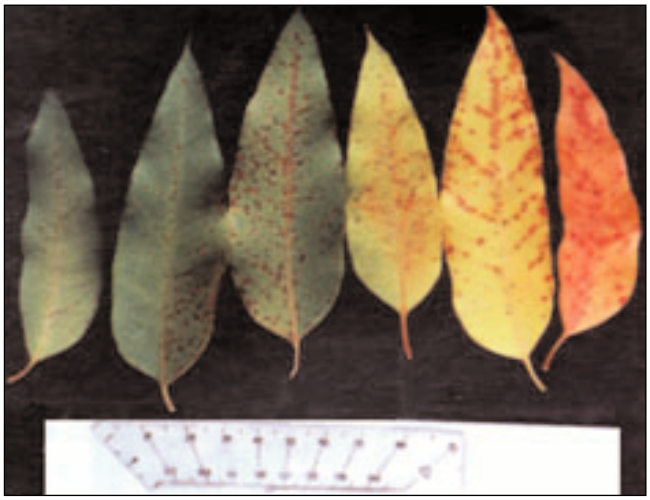


Foto 6. Progresión de los síntomas de deficiencia de N en clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Foto 7. Hojas de *E. glóbulus* deficientes en N comparadas con hojas normales.

Otros síntomas de deficiencias nutricionales en eucalipto

La falta o exceso de uno o más nutrientes produce visibles anormalidades en las plantas (clorosis, muerte de los tejidos y reducción del crecimiento). Estos síntomas son específicas para cada nutriente. Una vez

Foto 8. Progresión de los síntomas de deficiencia de P en clones de *E. grandis* x *urophylla*.

Tabla 6. Recomendaciones de fertilización potásica en Eucalipto de acuerdo al contenido de potasio en el suelo (0-20 cm).

Meses después de la siembra	Forma de aplicación	---- K intercambiable ($mmol_c$ dm^{-3}) ----		
		0-1.0	1.0-1.5	>1.5
		---------- kg K_2O ha^{-1} ----------		
2-3	A la corona o en banda a 30 cm de la planta	20-30	20-30	20-30
6-9	A la corona o en banda a 30 cm de la planta	30-45	20-30	-
12-18	En banda entre las hileras o en toda la superficie	60-75	-	-
Total aplicado		120-150	40-60	20-30

Foto 9. Puntuación de los síntomas de deficiencia de P en clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Foto 10. Síntomas de deficiencia de Ca en *E. grandis* (hojas nuevas torcidas).

que se manifiestan los síntomas visuales el crecimiento y rendimiento de las plantas ya está comprometido.

Cuando el elemento es clasificado como móvil, los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas más viejas. En cambio cuando el elemento es menos móvil o inmóvil los síntomas de deficiencia se manifiestan primero en las hojas más jóvenes.

Como regla general se puede decir que los síntomas de toxicidad de todos los elementos aparecen primero en las hojas más viejas. (Fotos 6-13).

Es importante diferenciar síntomas de deficiencias o exceso nutricional de otros problemas que puede manifestar el cultivo en el campo. Antes de proceder con el diagnóstico nutricional conviene observar algunos aspectos importantes en el cultivo como existen síntomas de infección por plagas y enfermedades, si el síntoma es generalizado, si hay gradiente en la intensidad del síntoma, si hay simetría del síntoma en la planta. En la mayoría de los casos la fitotoxicidad de un herbicida se confunde con la deficiencia de B y Zn.

Foto 11. Síntomas de deficiencia de Mg en *E. grandis* x *E. urophylla* (clorosis intervenal de las hojas viejas).

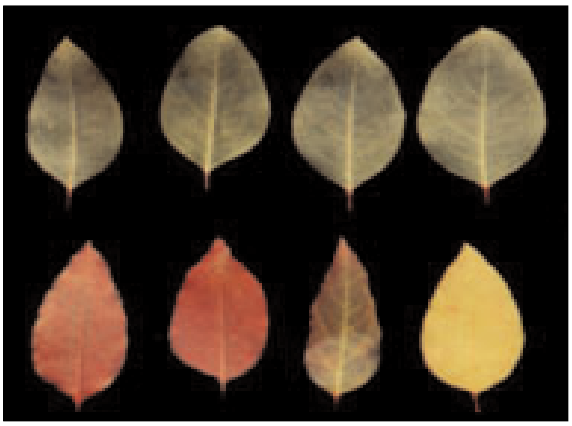


Foto 12. Síntomas de deficiencia de S en *E. urophylla* (amarillamiento y clorosis de las hojas nuevas).

Bibliografía

Boardman, R., R. N. Cromer, M. J. Lambert and M. J. Webb. 1985. Forest plantations. In: Munson, R.D. (ed). Potassium in Agriculture. Madison: American Society of Agronomy.

Cromer, R. N., D. Cameron, J. N. Cameron, D.W. Flinn, W. A. Nielsen, M. Raupach, P. Snowdon and H. D. Waring. 1981. Response of eucalipt species to fertilizer applied soon after planting to several sites. Australian Forestry 44: 3-13.

Dell, B. 1996. Diagnosis of nutrient deficiencies in Eucalyptus. In: Attiwill, P. M. and W. A. Nielsen (eds). Nutrition of Eucalyptus. Collinood: CSIRO Publishing.

Goncalvez, J. L. M. 1995. Recomendacoes de adubacao para Eucalyptus, Pinus e Especies Típicas da Mata Atlántica. Documentos Forestais 15: 1-23.

Houran, D. M., and Z. Wenlong. 1996. Fertilizers and Eucalyptus plantations in China. In: Attiwill, P. M. and W. A. Nielsen (eds). Nutrition of Eucalyptus. Collinood: CSIRO Publishing.

Foto 13. Síntomas de deficiencia de B en *E. urophylla* (hojas nuevas cloróticas, coreáseas y deformadas.

Malavolta, E. 1987. Esencias Florestais: Eucalipto e Pinus. In: Malavolta, E. (ed). Manual de calagem e adubacao das principais culturas. Sao Paulo: Ceres.

Novais, R. F., A. K. Rego, e J. M. Gomes. 1980. Nivel crítico de potasio no solo e na planta para o crecimiento de mudas de *Eucaliptus grandis* W. Hillex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. Revista Arvore 4:14-23.

Silveira, R. L. V. A., E. N. Higashi, e P. N. Ponpermayer. 1998. Monitoramento nutricional do *Eucaliptus* na regiao de Capao Bonito/SP. Relatorio técnico IPEF/ESALQ.

Silveira, R. L.V. A., E. N. Higachi, A. N. Goncalve, e A. Moreira. 1999. Avalaicao do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretacoes (compact disc). In: Simposio Sobre Fertilizacao y Nutricao Florestal, Piracicaba. IPE/ESALQ.

Yost, R. S., D. S. De Bell, C. D. Whitesell, and S. C. Miyasaka. 1987. Early growth and nutrient status of *Eucalyptus* saligna as affected by nitrogen and phosphorus fertilization. Australian Forest Research 17: 301-307.

Nota final: El articulo original tiene una extensa bibliografía. Una lista de esta bibliografía se puede solicitar a la siguiente dirección electrónica: elopez@ppi-ppic.org -

Toxicidad de hierro... Cont.

Estrategias de manejo para prevenir la toxicidad de Fe

En general, las medidas que previenen la toxicidad de Fe son las siguientes:

1. Variedades: Utilizar variedades tolerantes a la toxicidad de Fe (IR8192-200, IR 9764-45). Si se suplementan nutrientes en cantidades suficientes, los híbridos de arroz forman un sistema radicular más vigoroso, con un mayor poder de oxidación, que tiende a absorber cantidades bajas de Fe en suelos donde se puede desarrollar toxicidad de Fe.
2. Tratamiento de la semilla: En climas temperados, donde se siembra directamente la semilla, se recomienda cubrir la semilla con oxidantes (peróxido de calcio al 50-100% de base al peso de la semilla) para mejorar la germinación y la emergencia de la plántula, al incrementarse el suplemento de O_2.
3. Manejo del cultivo: Es aconsejable retrazar la siembra hasta que el pico de alta concentración de Fe^{2+} haya pasado (no menos de 10-20 días después de la inundación).
4. Manejo del agua: Se debe usar riego intermitente y evitar la inundación permanente en suelos pobremente drenados que contienen cantidades altas de Fe y materia orgánica.
5. Manejo de los fertilizantes: Utilizar una nutrición balanceada (NPK o NPK + cal) para evitar el estrés de nutrientes. Aplicar suficiente K y encalar los suelos ácidos. No se debe aplicar cantidades excesivas de materiales orgánicos (residuos de corral, paja) en suelos que contienen cantidades altas de Fe y materia orgánica o donde el drenaje es malo. Se debe utilizar urea (menos acidificante) antes que sulfato de amonio.
6. Manejo del suelo: Se debe arar el suelo seco en el período de descanso después de la cosecha para incrementar la oxidación del Fe. Esto reduce la acumulación de Fe^{2+} durante el subsecuente período de inundación.

Tratamiento de la toxicidad de Fe

Se deben seguir las medidas preventivas porque el tratamiento de la toxicidad de Fe durante el crecimiento del cultivo es difícil. Algunos tratamientos opcionales se presentan a continuación:

1. Aplicar K, P y Mg adicionales.
2. Incorporar cal en suelos ácidos para elevar el pH.
3. Incorporar 100-200 kg de MnO_2/ha para disminuir la reducción del Fe^{3+}.
4. Remover el agua de inundación en la mitad del ciclo para sacar el Fe^{2+} acumulado. Se debe también drenar el suelo en la mitad del período de macollamiento, y se lo debe mantener libre de agua (pero húmedo) alrededor de 7-10 días, para mejorar el suplemento de O_2 durante este período.-

REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

EFECTIVIDAD RELATIVA DEL SUPER-FOSFATO Y DE LA ROCA FOSFORICA EN SUELOS DONDE EXISTE LIXIVIACION LATERAL Y VERTICAL DE FOSFATOS.

Bolland, M. D. A. and R. J. Gilkes. 1998. The relative effectiveness of superphosphate and rock phosphate for soils where vertical and lateral leaching of phosphate occurs. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51:139-153.

Estudios de laboratorio han demostrado que hasta el 70% de roca fosfórica reactiva se disuelve en tres tipos de suelos ácidos localizados en el área de alta precipitación (>800 mm de lluvia anual) del sur oeste de Australia. Se condujeron 3 experimentos de campo para comparar la roca fosfórica de Carolina del Norte (RFCN) con superfosfato simple (SFS) como fuentes de P para trébol (*Trifolium subterraneum*). Se detectó lixiviación vertical de fósforo (P) en uno de los suelos caracterizado por tener un perfil profundo de suelo muy arenoso. En el segundo suelo se pudo observar lixiviación lateral de P debido a la presencia de una capa de arena poco profunda (3 cm) sobre un suelo areno-arcilloso de poca permeabilidad. No existió lixiviación de P en el tercer suelo caracterizado por un horizonte uniforme y permeable de textura franco arenosa con moderada capacidad para absorber P. Todos los suelos permanecieron de húmedos a muy húmedos en los 6 a 8 meses del período de crecimiento. Se aplicó fertilizante una sola vez a un cuarto de las parcelas en el primer año, una vez al otro cuarto en el segundo año, una vez a tercer cuarto en el tercer año y finalmente una vez al cuarto final en último año (1992 a 1995). Cada año se determinó la efectividad de las dos fuentes de P utilizadas en relación a la efectividad de aplicaciones anuales de SSP (cada cuarto fertilizado anualmente) usando el rendimiento y el contenido de P en el trébol y el P extraído del suelo con bicarbonato como índices de efectividad.

En los suelos que lixivian P, en los diferentes años del estudio, la RFCN fue menos, igual o más efectiva que el SFS aplicado anualmente. Esta variación se atribuye al diferente comportamiento de la lixiviación de P del SFS, debido a que estos suelos experimentaron diferentes cantidades de lluvia en diferentes años. Para el suelo que no lixivió P, la efectividad de la aplicación anual de la RFCN fue de 5% y la efectividad residual del 80 % del valor del SFS. Cuando se estimó la efectividad de la RFCN mediante el análisis de suelo, se encontró que la aplicación anual y el efecto residual de la aplicación inicial fue solamente 40% efectiva, igual o 130% más efectivo que el SFS en los diferentes años en un sitio y en los otros dos fue solamente 20% efectiva en comparación con el SFS. Para los suelos que lixivian P, en algunos años, el valor residual de la RFCN fue más alto que el SFS anual, tal vez debido a la rápida lixiviación del P soluble en agua del SFS. Las estimaciones de rendimiento, contenido de P en la planta y el análisis de P en el suelo indican que la efectividad relativa del SFS se reduce consistentemente con el paso del tiempo después de la aplicación, la reducción fue mucho menos obvia para NFCN.-

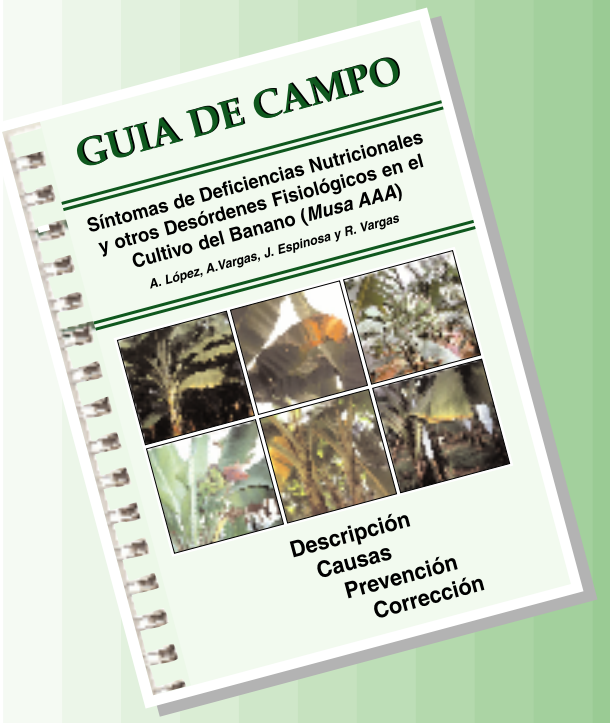
GRANULOS GRANDES DE UREA CON FOSFATO DIAMONICO: NUEVO FERTILI-ZANTE POTENCIAL DE NP PARA ARROZ TRASPLANTADO.

Savant, N. K. and P. J. Stangel. 1998. Urea briquettes containing diammonium phosphate: a potential new NP fertilizer for transplanted rice. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51:85-94.

El rápido incremento de los precios de los fertilizantes en años anteriores junto con la notoria reducción en la recuperación de nutrientes de los fertilizantes en los campos cultivados con arroz, en la mayoría de los países en desarrollo, ha promovido una revisión de la tecnología que utiliza gránulos grandes de urea para mejorar la eficiencia de uso del fertilizante.

Los gránulos grandes de urea conteniendo fosfato diamónico (UB-DAP) pueden ser producidos mediante el uso de un aglomerador portátil a pequeña escala (200 kg ha^{-1}), a nivel de finca y a precios razonables para pequeños productores de arroz. El manejo mejorado consiste en colocar un gránulo grande de fertilizante (peso) UB-DAP (N:P = 4:1) por cada 4 surcos y a una profundidad de 7-10 cm, a la siembra o un día después del trasplante, usando distancias modificadas de 20 x 20 cm (25 surcos por m^2). Esta técnica es simple de adoptar, ahorra el 50% de las labores normalmente requeridas para la aplicación convencional de fertilizante y ayuda a reducir el período de indisponibilidad espacial del DAP para plantas de arroz. Los resultados de varios ensayos de campo llevados a cabo por agricultores durante el período de 1990-95, en la estación húmeda en India, demostraron que el manejo de UB-DAP incrementa la eficiencia agronómica del fertilizante y es económicamente más atractiva, tiene menos riesgo y reduce la pérdida de nutrientes comparado con el uso convencional de urea y superfosfato simple. El uso de este fertilizante ofrece a las mujeres en el campo la oportunidad de jugar un rol importante al incrementar el rendimiento de arroz. El manejo de UB-DAP puede ser integrado en un plan de reciclamiento de nutrientes y el uso de Gliricidia como abono verde (un enfoque agroforestal). El uso integrado de UB-DAP tiene el potencial de incrementar el rendimiento de arroz de pequeños productores de escasos recursos en zonas húmedas o en eco-regiones donde se cultiva arroz trasplantado en países en desarrollo. Esto se logra con menos fertilizante, mientras se protege el ambiente. Por esta razón, el UB-DAP es un fertilizante muy importante como fuente de N y P para arroz trasplantado en el siglo 21.-

NUEVA PUBLICACION



El banano se caracteriza por extraer altas cantidades de nutrientes del suelo, factor que está relacionado con la alta productividad del cultivo (50 a 70 toneladas/ha/año de fruta fresca). Anualmente se exportan con el racimo apreciables cantidades de nitrógeno (N) y potasio (K), que llegan hasta 125 y 400 kg/ha/año, respectivamente. Estos y otros nutrientes deben necesariamente ser repuestos para que la producción de banano se mantenga a través del tiempo.

Para diseñar las recomendaciones de fertilización del cultivo de banano normalmente se utilizan los análisis químicos de suelo y foliares. La información básica entregada por estas herramientas de diagnóstico requiere necesariamente de información complementaria, como los datos de producción de cada área y el diagnóstico visual del estado de la plantación. El técnico que inspecciona las diferentes áreas de producción de una finca puede obtener datos sobre la apariencia de la plantación, el color de las plantas y el estado de sistema tradicional en cada zona.

Esta Guía es una herramienta práctica para la identificación, en el campo, de los síntomas de deficiencia y toxicidad de nutrientes en la planta de banano. La Guía ofrece además información sobre las causas de los desórdenes nutricionales y como éstos se pueden prevenir o corregir.

Los técnicos involucrados en la producción de banano tienen en esta Guía de Campo una herramienta valiosa para definir estrategias de fertilización y manejo del cultivo.

NUEVA IMPRESION

De los principales cultivos, la palma aceitera tiene probablemente la mayor área bajo intenso uso de fertilizantes. El costo de los nutrientes representa más de la mitad del costo total de producción. Debido al papel fundamental de los fertilizantes en la producción de palma aceitera, se han hecho considerables esfuerzos para desarrollar métodos que provean una base científica para estimar las necesidades de fertilizantes. Sin embargo, muchos técnicos a cargo del manejo de las plantaciones tienen confianza excesiva en los análisis de suelos y en los análisis foliares y prestan poca atención a la inspección del campo, que permite desarrollar un ojo bien entrenado para detectar e interpretar los síntomas de deficiencia en el sitio. El técnico que inspecciona regularmente los lotes en el campo empieza a observar como aparecen detalles característicos de los síntomas de deficiencia y el efecto de los nutrientes aplicados en la posterior apariencia de las hojas de la palma.

Esta publicación es una guía de bolsillo para técnicos a cargo del manejo de las plantaciones que deseen identificar los signos de deficiencia en el campo, conocer algo acerca de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse.

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. XXVIII CONGRESO BRASILERO DE LA CIENCIA DEL SUELO : CIENCIA DO SOLO: FATOR DE PRODUTIVIDADE COMPETITIVA COM SUSTENTABILIDADE

Organiza : Sociedad Brasileira de la Ciencia del Suelo
Lugar y Fecha : Londrina PR - Brasil
1 - 6 Julio, 2001
Información : SBCS
Universidad Stadual de Londrina
Londrina - Brasil
Telf..: 43 371 6081
Fax: 43 371 6100
E-mail: hungria@cnpso.embrapa.br
Web:http://www.cnpso.embrapa.br/cbcs

2. 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL AND PLANT ANALYSIS

Organiza : Palm International Conferences
Lugar y Fecha : Edmonton - Canada,
21 - 27 Julio, 2001
Información : Anette Palm
Palm International Conferences
Turnstrasse 11, 67707
Krickenbarch, Germany
Fax: +49 6307 401104
Web: www.isspa2001.com

3. InfoAg 2001 CONFERENCE

Organiza : Potash & Phosphate Institute (PPI)
Lugar y Fecha : Indianapolis - Indiana
7 - 9 August, 2001
Información : Phyllis Pates
P. P. I.
772 22nd Avenue South
Brookings, SD 57006
USA
Telf.: 605 692 6280
Fax.: 605 697 7149
E-mail: ppates@ppi-far.org
Web: www.ppi-far.org/infoag

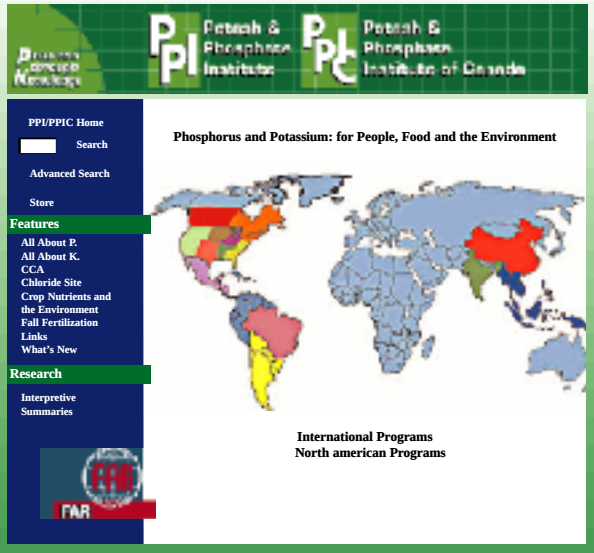
4. XV CONGRESO LATINO AMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Organiza : Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo y Sociedad Latino Américana de la Ciencia del Suelo
Lugar y Fecha : Varadero - Cuba,
11 - 16 Noviembre, 2001
Información : Dr. Rafael Villegas
Av. Van Troi No. 17203
Boyeros CP 19210
La Habana - Cuba
Fax: 53 7 666036
E-mail: xvcongreso@inica.edu.cu

NUESTRO SITIO WEB: www.ppi-ppic.org

Desde el Instituto de la Potasa y el Fósforo (PPI) y el Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá (PPIC) hemos lanzado un nuevo sitio en Internet donde se podrá encontrar información de las actividades de investigación y educación del Instituto, así como también estadísticas de producción de cultivos, uso de fertilizantes y otras.

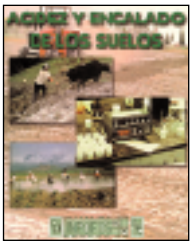
INPOFOS A.S. tiene su propia página en este nuevo sitio donde incluiremos toda la información corresponddiente a la región.



PUBLICACIONES DE INPOFOS

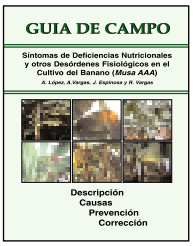
Las siguientes publicaciones de INPOFOS se encuentran disponibles al siguiente costo

U **NUEVA PUBLICACION** **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 deficiencia nutricionales, conocer sus causas y determinar una estrategia de prevensión o recuperación. $ 8.00



U **NUEVA IMPRESION** **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

U **Acidez y Encalado de los Suelos.** Boletín que discute los fundamentos de la acidez del suelo y permite planificar adecuadamente las estrategias de encalado en suelos tropicales. $ 8.00



U **Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes.** Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes. $ 4.00

U **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

U **Manual de Nutrición y Fertilización del Café.** Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos. $ 20.00

U **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

U **POTASA: Su Necesidad y Uso en Agricultura Moderna.** Esta publicación cubre aspectos como funciones de potasio en las plantas, necesidad, síntomas de deficiencia y el eficiente uso de fertilizantes potásicos. $ 4.00

U **Manual de Nutrición y Fertilización del Banano: Una visión práctica de la fertilización.** Documento que resalta modernos conceptos de nutrición y fertilización de banano y que permite lograr recomendaciones prácticas sobre dosis de nutrimentos necesarios para lograr altos rendimientos sostenidos de banano. $ 20.00

U **Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos.** Publicación que cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo del algodón. $ 5.00

U **Conceptos Agronómicos.** Panfletos que describen conceptos agronómicos básicos que ayudan en el manejo eficiente de suelos y nutrientes. Disponible: El Cloro, verdades y mitos. $ 0.50

PEDIDOS DE PUBLICACIONES: Las publicaciones de INPOFOS pueden ser adquiridas en las siguientes direcciones:

COLOMBIA: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Carrera 11 No. 66-34, Oficina 601. Telf. y Fax.: 211-3383. E-mail: scsuelo@ibm.net. Bogotá, Colombia.

COSTA RICA: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS). Código Postal 2060. Telf.: 224-3712 Fax: 224-9367 E-mail: fbertsch@cariari.ucr.ac.cr. San José, Costa Rica.

PERU: Corporación MISTI S.A. Ing. Federico Ramírez, Tudela y Varela 179, San Isidro. Telf.: 222-6722 Fax: 442-9881 E-mail: framirez@corpmisti.com.pe. Lima, Perú.

EN OTROS PAISES: Solicitar las publicaciones a las oficinas de INPOFOS en Quito. Adjuntar cheque girado contra una plaza de los Estados Unidos a nombre del Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS) por el valor de las publicaciones más costo de correo (4.00 US $ dólares por publicación).