
Nutrición y Fertilización Potásica en Eucalipto

Arruda, S. R., y E. Malavolta*

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 *Eucalyptus* 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 sintetetasas, oxireductasas, deshidrogenasas, transferasas, quinasas y aldolasas. El K está involucrado en la síntesis de proteínas y por esta razón, las plantas

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

que presentan bajo contenido de K tienen bajo contenido proteico y acumulan compuestos de bajo peso molecular como aminoácidos, amidas, aminas y nitratos.



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)

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 escleren-quimatoso, 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.



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



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).

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 CO₂ en los cloroplastos, disminuyendo consecuentemente la tasa fotosintética.

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 almidón 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.

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 mmol _c dm ⁻³	Mg ...	CIC	K/CIC %	K kg ha ⁻¹
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

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 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.

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

Especie	Edad años	Sitio	----- Contenido de K -----					Total	Producción	
			Hojas	Ramas	Corteza	Madera	C+M		MS T ha ⁻¹	Vol. m ³ ha ⁻¹
			----- kg ha ⁻¹ -----							
<i>E. grandis</i>	6	M.G., Brasil	35	38	66	51	117	190	85	-
<i>E. grandis</i>	6	S.P., Brasil	28	23	-	-	194	245	249	-
<i>E. grandis</i>	20	Australia	108	103	92	271	363	574	-	-
<i>E. fastigata</i>	4	N. Zelanda	96	48	26	77	103	246	62	-
<i>E. nitens</i>	4	N. Zelanda	82	53	52	120	172	306	82	-
<i>E. saligna</i>	8	Australia	54	50	62	137	199	303	130	211
<i>E. saligna</i>	9	M.G., Brasil	28	23	29	61	90	141	-	289
<i>E. citriodora</i>	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 -----				Total	MST ¹ g planta ⁻¹	EKT ²
			Hojas	Tronco	Raíces	Total			
			----- mg planta ⁻¹ -----						
Clon – Procedencia Chisengu ³	62	Invernadero	88.1	30.9	39.4	158.4	11.4	72.0	
Clon – Procedencia 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	

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

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

En la región de Santa Bárbara, 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 encontrado 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. citriodora*). 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. europaylla*.

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 Vicoso, 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 Vicoso 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 Vicoso 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.

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

Elemento	Boardman <i>et al.</i> (1997) ¹	Dell <i>et al.</i> (1995) ¹	Gonvaes (1995) ²	Silveira <i>et al.</i> (1991) ¹	Malavolta <i>et al.</i> (1987) ²	Boardman <i>et al.</i> (1997) ²	Silveira <i>et al.</i> (1999) ²
----- Rangos adecuados -----				----- Rangos Deficientes -----			
----- g kg ⁻¹ -----							
N	16-29	18-34	13.5-18.0	22-57	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	30-50	34-44	<8	<21
Cu	4-12	2-7.4	7-10	7-10	6-7	<2	<4
Fe	50-156	63-128	150-200	150-200	65-125	-	-
Mn	190-700	193-547	400-600	400-600	200-840	-	-
Zn	15-46	17-42	35-50	35-50	15-20	<7	<7

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

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

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

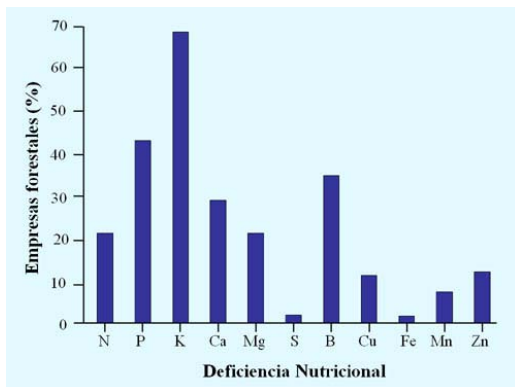


Figura 1. Frecuencia de los síntomas de deficiencia nutricional en eucaliptos, en 22 empresas forestales consultadas

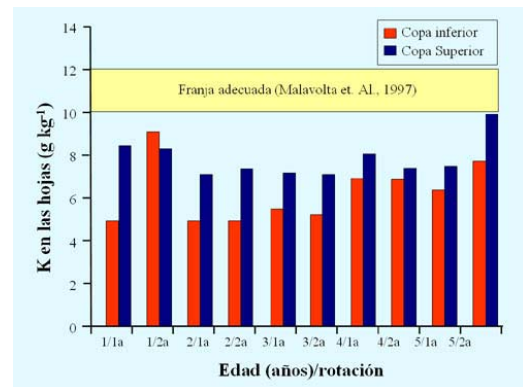


Figura 2. Concentración de K en la parte superior de la copa de *E. grandis* en función de la edad y de la rotación, en la región de Itatinga, SP, Brasil.

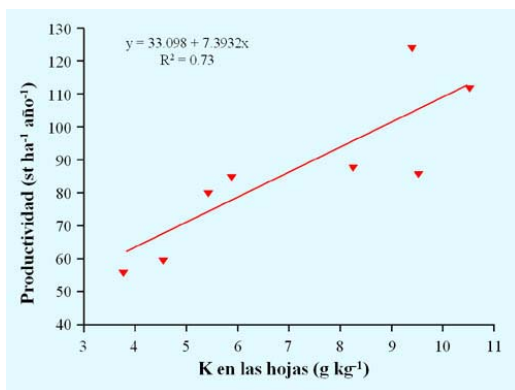


Figura 3. Relación entre la concentración de K en las hojas y la producción de *E. saligna*, en la región de Capao Bonito, Sp, Brasil.

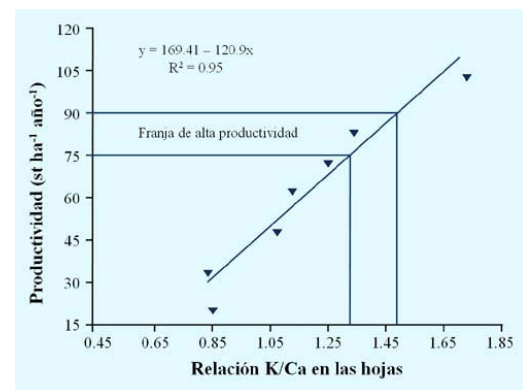


Figura 4. Efecto de la relación K/Ca de las hojas en la producción de *E. grandis* en la región de Lencóis Paulista, SP, Brasil.

Interacción del K y otros nutrientes

Los efectos entre K, Ca y Mg ocurren en forma de 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), P₂O₅ (0, 100 y 200), K₂O (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 K₂O 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 K₂O 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 K₂O 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.

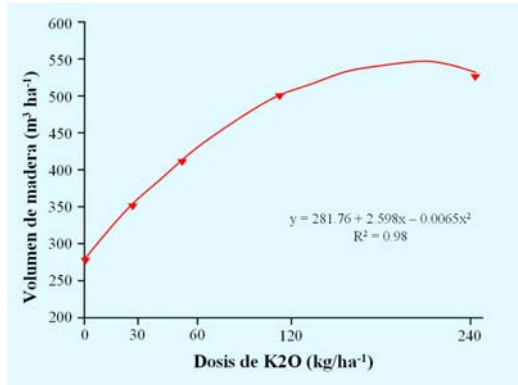


Figura 5. Volumen de *E. grandis* a los 6.5 años de edad en la región de Itamarandiba, Mg, Brasil, en función de las dosis de K.

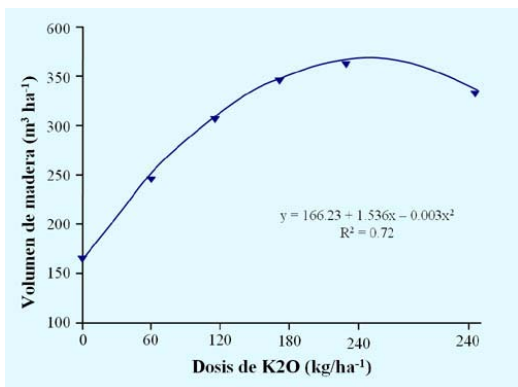


Figura 6. Volumen de *E. grandis* a los 5 años de edad, en condición de segunda rotación en la región de Angatuba, SP, Brasil, en función de las dosis de K.

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 Podzólico Rojo-Amarillo textura arcillosa y de hasta 240 kg ha^{-1} en un Latosol Rojo-Amarillo textura

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}).

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 $0.6\ mmol\ K\ dm^{-3}$.

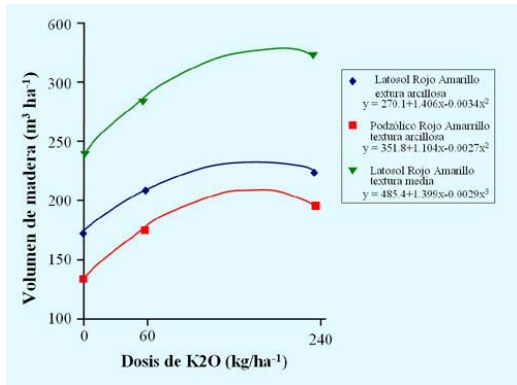


Figura 7. Volumen de *E. grandis* a los 4 años de edad en diferentes tipos de suelo, en la región de Valle de Paraíba, en función de las dosis de K.

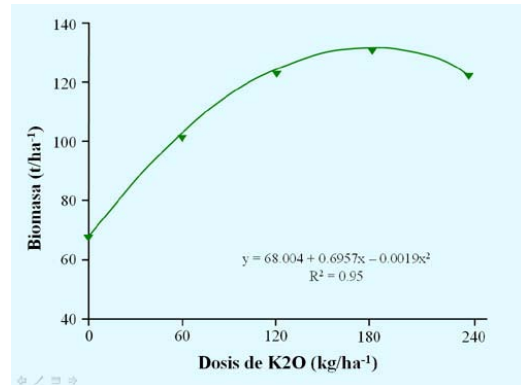


Figura 8. Biomasa de la parte aérea de *E. grandis* a los 6.5 años, en función de las dosis de K.

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.

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

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.
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 $\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$.
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.

Otros síntomas de deficiencias nutricionales en eucalipto

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

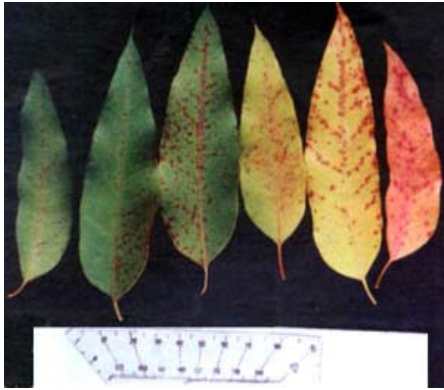


Foto 6. Progresión de los síntomas de deficiencia de N en clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.

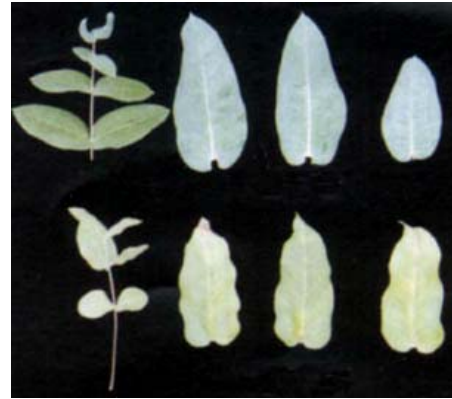


Foto 7. Hojas de *E. glóbulos* deficiente en N comparadas con hojas normales

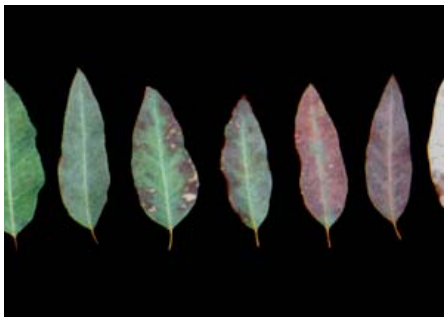


Foto 8. Progresión de los síntomas de deficiencia de P en clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.



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).



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

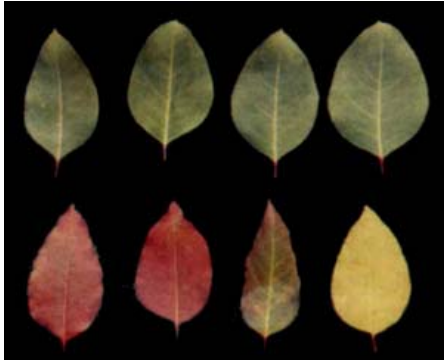


Foto 12. Síntomas de deficiencia de S en *E. urophylla* (amarillamiento y clorosis de las hojas nuevas).



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

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.

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 crescimento 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 regio de Capao Bonito/SP. Relatório técnico IPEF/ESALQ.

Silveira, R. L.V. A., E. N. Higachi, A. N. Goncalve, e A. Moreira. 1999. Avaliacao 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.