

LA NUTRICION MINERAL EN PLANTULAS DE *Eucalyptus Saligna*

Por: León M. Escobar*
Jorge I. del Valle**

RESUMEN

En plántulas de *Eucalyptus saligna* se indujeron deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y boro. El potasio fue el nutriente que más limitó el crecimiento en altura y producción de biomasa. En orden de importancia le siguieron nitrógeno, magnesio y fósforo. El calcio no limitó el crecimiento en altura pero sí la producción de biomasa. El boro no produjo limitaciones en ninguno de los parámetros. Se consideró que 100 ppm de nitrógeno, 10 ppm de fósforo, 20 ppm de potasio y 0,5 ppm de boro representan un suministro adecuado para un buen crecimiento en las plántulas cultivadas hidropónicamente. Concentraciones en el follaje de 0,9% N; de 0,05% P a 0,09% P; 0,31% K a 0,38% K; 0,16% Mg; 0,14% Ca y 13 ppm B indicaron deficiencias de los nutrientes. Contenidos foliares de 1,6% N a 2,1% N; 0,21% P a 0,27% P; 1,29% K a 1,94% K; 0,24% Mg a 0,37% Mg; 0,48% Ca a 1,34% Ca y 26 ppm B a 46 ppm B correspondieron a una cantidad óptima. Se definió a las concentraciones 0,10% P y 0,46% K como niveles críticos de fósforo y potasio en el follaje, para las condiciones del Ensayo.

SUMMARY

Deficiency symptoms of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium and boron were induced in *Eucalyptus saligna* by an hidroponic cultivation in quartz sand substrata. The most limiting growth nutriente was potassium both for height and biomass production. Then, in a descendent order it was followed in levels of restriction by nitrogen, magnesium and phosphorus. Calcium didn't limit the height growth but the biomass production was restricted. Boron didn't induce limitations in both parameters. It was considered that 100 ppm of nitrogen, 10 ppm of phosphorus, 20 ppm of potassium and 0,5 ppm of boron are an addecuate supply for quartz sand

* Sección de Nutrición Forestal. Servicio Nacional de Sanidad Forestal. INDIERENA. Medellín.

** Profesor asociado del Departamento de Recursos Forestales. Universidad Nacional. Medellín.

cultivated seedlings of this especie. Foliar concentrations of 0,9% N; 0,05% P- 0,09% P; 0,31% K - 0,38% K; 0,16% Mg; 0,14% Ca and 13 ppm B was an indication of mineral nutrient deficiencies. Foliar contents of 1,6% N- 2,1% N; 0,21% P- 0,27% P; 1,29% K- 1,79% K; 0,24% Mg- 0,37% Mg; 0,48% Ca- 1,34% Ca and 26 ppm B- 46 ppm B correspond to an optimal nutritional status. As critical foliar levels of mineral nutrition it was set 0,10% P and 0,46% K; for experiment conditions.

1. INTRODUCCION

En la actualidad muchas plantaciones de *Eucalyptus saligna* establecidas en las zonas montañosas de Colombia presentan anomalías en el follaje y limitaciones en el crecimiento que se han interpretado como deficiencias nutricionales. Se desconoce en el país cuales son los síntomas visuales característicos causados por la falta de algún nutrimento y aún no se han determinado los niveles foliares indicativos de un estado nutricional deficiente u óptimo. Esta publicación suministra la información necesaria para que los reforestadores diagnostiquen correctamente cual elemento se encuentra en forma deficiente y así pueda determinar el programa de fertilización más adecuado para mejorar el crecimiento.

2. OBJETIVOS

- 2.1 Inducir y describir los síntomas visuales de deficiencias de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y boro en plántulas de *E. saligna*.
- 2.2 Determinar los requerimientos nutricionales de la especie, mediante la evaluación de la respuesta a la aplicación de diferentes concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y boro en la producción de biomasa y crecimiento en altura.
- 2.3 Confeccionar una tabla standard de diagnóstico de deficiencias nutricionales de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y boro, con base en el análisis foliar.

3. DESCRIPCION DEL ENSAYO

3.1 Localización

El ensayo estableció en un invernadero ubicado en la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas (Antioquia, Colombia), la temperatura promedio anual es de 15°C y la precipitación promedio anual es de cerca de 1590 mm. Ecológicamente la zona pertenece al bosque húmedo Montano Bajo.

3.2 Obtención de Plántulas

Las semillas de *Eucalyptus saligna** se sembraron en un germinador cuyo substrato era arena de río tratada con ácido clorhídrico al 5% y

* Procedencia: Arboles semilleros de la finca "La Clarita", vereda La Clara, municipio de Caldas, departamento de Antioquia. No hay datos de coordenadas y altitud.

lavada repetidas veces con agua destilada; luego se hizo un riego diario con agua destilada durante la germinación y crecimiento inicial de las plántulas. A los cinco meses de edad se hizo el trasplante a macetas (a = 13,3 cm, h = 17,7 cm) con cuarzo fino colocándose 3 plántulas en cada una procurando mantener una altura uniforme.

3.3 Diseño experimental, preparación y aplicación de los tratamientos

Se definieron 16 tratamientos, los cuales se dispusieron en un diseño completamente al azar con tres repeticiones, cada repetición es una maceta (en total 48 macetas). Los tratamientos considerados fueron: Solución completa o testigo (suministra todos los nutrientes en forma adecuada), sin nitrógeno (- N) y 100 ppm N; sin fósforo (- P), 1 ppm P, 10 ppm P y 180 ppm P; sin potasio (- K), 10 ppm K, 20 ppm K y 1000 ppm K; sin boro (- B), 1 ppm B y 3 ppm B; sin calcio (- Ca) y sin magnesio (- Mg).

Los niveles de suministro de nitrógeno, fósforo y potasio se establecieron con base en las experiencias obtenidas con *Pinus radiata* en Nueva Zelanda (Will, 1961a.). Para la preparación de los tratamientos se usaron las soluciones madres de HOAGLAND (CORREA, 1978), con modificaciones ideadas en éste ensayo (Cuadro 1); las cantidades necesarias en ml en que participa cada solución madre se consignan en el Cuadro 2.

CUADRO 1: Soluciones madres ideadas por HOAGLAND

SIMBOLO	COMPUESTO (REACTIVO)	CONCENTRACION
A 1,00 M ¹	Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	236,00 g + 1 litro agua dest.
B 1,00 M	KNO ₃	101,00 g + 1 litro agua dest.
C 1,00 M	MgSO ₄ · 7H ₂ O	246,50 g + 1 litro agua dest.
D 1,00 M	KH ₂ PO ₄	136,00 g + 1 litro agua dest.
E 0,01 M	CaHPO ₄ · 2H ₂ O	3,40 g + 1 litro agua dest.
F 0,50 M	K ₂ SO ₄	86,10 g + 1 litro agua dest.
G 0,01 M	CaSO ₄ · 2H ₂ O	1,72 g + 1 litro agua dest.
H ²	Quelato de hierro	1%
I 1,00 M*	CaSO ₄ · 2H ₂ O	172,00 g + 1 litro agua dest.
J 1,00 M*	Urea	60,00 g + 1 litro agua dest.
K 1,00 M*	KCL	74,60 g + 1 litro agua dest.
L 1,00 M*	Super fosfato triple	234,00 g + 1 litro agua dest.
M ³	Elementos menores	
N ^{4*}	Elementos menores	
O ^{5*}	Elementos menores	
P ^{6*}	Elementos menores sin boro	

*: Modificaciones empleadas para éste ensayo.

1: M = Molar.

2: Quelato de hierro 1% = 1 g del compuesto disuelto en 1 litro de agua destilada.

3: 1,81 g MnCl₂; 2,86 g H₃BO₃; 0,22 g ZnSO₄ · 5H₂O; 0,08 g CuSO₄ · 5H₂O; 0,09 g H₂MoO₄ disueltos en 1 litro de agua destilada.

4: Sólo varía la cantidad de H₃BO₃ la cual es de 5,72 g, las cantidades de los compuestos restantes son similares a las del numeral 3.

5: La cantidad de H₃BO₃ es de 17,16 g, el resto como se definió en 3.

6: Se utilizaron todos los compuestos enumerados en 3, excepto el H₃BO₃.

CUADRO 2

Cantidades necesarias en mililitros de las soluciones madres para preparar las soluciones nutritivas (tratamientos), tomando como base un litro de solución en agua destilada.

SOLUCIONES MADRES

TRATAMIENTO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Agua destil.
Completo	5	5	2	1	—	—	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	986
Sin nitrógeno	—	—	2	—	50	10	200	*	—	—	—	—	1	—	—	—	737
100 ppm N	1,9	3,6	2	1	—	1,4	—	*	3,1	—	—	—	1	—	—	—	986
Sin fósforo	7,5	—	2	—	—	10	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	979,5
1,0 ppm P	5	5	2	0,03	—	1	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	985,97
10 ppm P	5	5	2	0,3	—	0,7	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	986
180 ppm P	2,6	5	2	1	—	—	—	*	2,6	2,4	—	2,4	1	—	—	—	981
Sin potasio	7,5	—	2	—	50	—	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	939,5
10 ppm K	7,5	0,13	2	0,13	50	—	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	939,24
20 ppm K	7,5	0,26	2	0,26	50	—	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	938,98
1000 ppm K	5	5	2	1	—	—	—	*	—	—	19,6	—	1	—	—	—	966,4
Sin boro	5	5	2	1	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	—	—	986
1,0 ppm B	5	5	2	1	—	—	—	*	—	—	—	—	—	1	—	—	986
3,0 ppm B	5	5	2	1	—	—	—	*	—	—	—	—	—	—	1	—	986
Sin magnesio	5	5	—	1	5	—	—	*	—	—	—	—	1	—	—	—	983
Sin calcio	—	5	2	1	—	—	—	*	—	5	—	—	1	—	—	—	986

* La solución H (quelato de hierro) se aplicó foliarmente. Los suministros del tratamiento completo o testigo de los principales nutrientes fueron: 210 ppm N, 31 ppm P, 195 ppm K, 49 ppm Mg, 200 ppm Ca, 64 ppm S y 0,5 ppm B.

A los seis meses y medio de sembradas las semillas se midió la altura inicial de las plántulas y se comenzó la aplicación de los tratamientos por goteo a razón de 95 ml/maceta/día; durante los fines de semana se regó con agua destilada para evitar la concentración de sales. Cada mes se hizo observación y descripción de los síntomas, usando la tabla Munsell de colores para follaje; para su utilización práctica adicionalmente se tomaron fotografías en colores resaltando cada uno de los síntomas. Como chequeo adicional se midió el pH el cual siempre estuvo en el rango de 5 a 6.

3.4 Sistema de Evaluación

La evaluación del ensayo se efectuó a los 13 meses de sembradas las semillas. En cada plántula se midió la longitud del vástago en cm usando flexómetro con una precisión de décimas y la raíz más el vástago se secaron en estufa a 105°C durante 24 horas, luego se pesaron en una balanza cuyo peso seco se expresó en gramos con una precisión de décimas. Para el análisis foliar se tomaron hojas entre la parte media y superior de la plántula. De acuerdo con el número de plántulas que había en cada maceta se calculó el crecimiento en altura total promedio* (longitud del vástago) y la producción promedio de biomasa (peso seco planta entera) por maceta y tratamiento; éstos dos parámetros se emplearon para evaluar el efecto de los tratamientos usando la prueba de amplitudes múltiples de DUNCAN al 1% y 5% (MANCINI, 1981).

Las muestras para el análisis químico foliar se prepararon por secamiento en estufa a 80°C durante 24 horas y luego se molieron con mazo y mortero de madera. La determinación de nitrógeno total se hizo por el método microkjeldahl (CONTRERAS y GUZMAN, 1983). Potasio, calcio, magnesio, cobre, manganeso, hierro, cinc y sodio se determinaron por absorción atómica (OLARTE, *et al*, 1979). En colorímetro se determinó fósforo por el método del ácido fosfomolibdico (OLARTE, *et al*, 1979) y boro por el método de la Azometina H (GAINES y MITCHEL, 1979).

La concentración foliar de nutrientes fue el tercer parámetro usado para establecer el estado nutricional de las plántulas de *E. saligna* en cada uno de los tratamientos. El rango de concentración foliar adecuado para cada nutriente, se definió con base en las concentraciones encontradas en los tratamientos 180 ppm P, 10 ppm P, completo, 100 ppm N y 20 ppm K, porque éstos tratamientos presentaron la mayor producción de biomasa y no se evidenciaron síntomas de deficiencias.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Nitrógeno

Las plántulas en el tratamiento (- N) mostraron la deficiencia de nitrógeno a los 15 días de iniciada la aplicación de los tratamientos. Se presentaron los siguientes síntomas: Hojas pequeñas de un color verde-

* El crecimiento en altura total promedio corresponde a la medición final menos la medición inicial.

amarillento (5 GY 5/6 a 2.5 GY 6/8); las hojas adultas tomaron un color rojizo acompañado de puntos necróticos (Foto 1); hubo poca formación de ramas, desarrollo radicular pobre y caída parcial de las hojas adultas (defoliación); se limitó notablemente el crecimiento en altura y la producción de biomasa fue muy baja, ambas tuvieron diferencias significativas en comparación con el tratamiento completo (Cuadro 3). Con respecto a las dosis de nitrógeno aplicadas es claro que un suministro de 100 ppm N es suficiente para mantener un crecimiento normal en plántulas de *E. saligna*, por cuanto su efecto en el crecimiento en altura y la producción de biomasa, no tuvo diferencias estadísticas significativas al compararlo con el tratamiento testigo en donde se suministraron 210 ppm de N (Cuadro 3 y Fig. 1A).

El tratamiento sin nitrógeno tuvo una concentración foliar de 0,89% N (Cuadro 4), valor que indica una deficiencia extrema del elemento, ya que, fueron visibles los síntomas. En los tratamientos 100 ppm N y completo la concentración foliar aumentó considerablemente a 1,6% N y 1,84% N respectivamente (Cuadro 4 y Fig. 2A). Tales valores se consideran adecuados puesto que no hubo síntomas visuales de deficiencia y el crecimiento en altura promedio en sólo seis meses y medio* fue de 83,9 cm y 95,0 cm respectivamente (Cuadro 3). Concentraciones de 1,97% N, 1,97% N, 1,98% N y 2,11% N también indican nutrición ade-

CUADRO 3

Comparaciones entre el crecimiento promedio en altura y peso seco promedio (planta entera) de los 16 tratamientos con base en la prueba de amplitudes múltiples de DUNCAN al 1% y 5%.

Tratamientos	Altura (cm)	Tratamientos	Peso seco (g)
1 ppm B	123,9	180 ppm P	102,3
— B	123,3	10 ppm P	76,2
10 ppm P	112,1	Completo	73,2
180 ppm P	111,2	20 ppm K	73,1
3 ppm B	111,1	100 ppm N	69,9
20 ppm K	108,2	— B	66,6
— Ca	95,6	1 ppm B	65,0
1000 ppm K	95,4	3 ppm B	64,0
Completo	95,0	— Ca	43,2
100 ppm N	83,9	1 ppm P	38,2
10 ppm K	76,4	1000 ppm K	37,5
1 ppm P	58,0	10 ppm K	33,6
— P	46,4	— P	20,1
— Mg	41,7	— Mg	12,9
— N	26,3	— N	3,1
— K	12,4	— K	2,7

———— Nivel de significancia 1%

----- Nivel de significancia 5%

* Tiempo comprendido entre la iniciación de la aplicación de los tratamientos y la evaluación del ensayo.

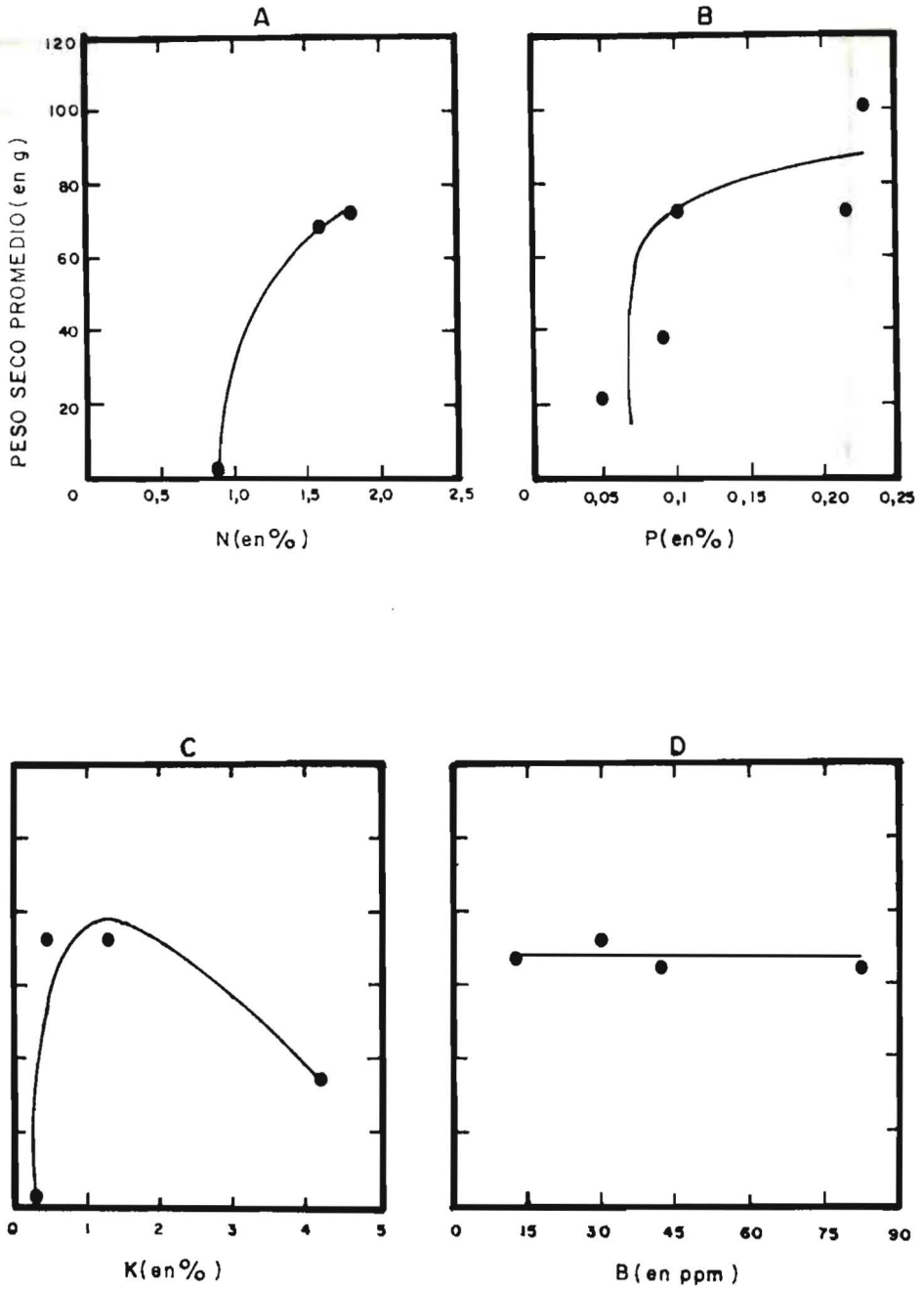


FIGURA 2: Relación entre la concentración foliar de nitrógeno, fósforo, potasio y boro y la producción de biomasa (peso seco planta entera) en plántulas de *E. saligna*.

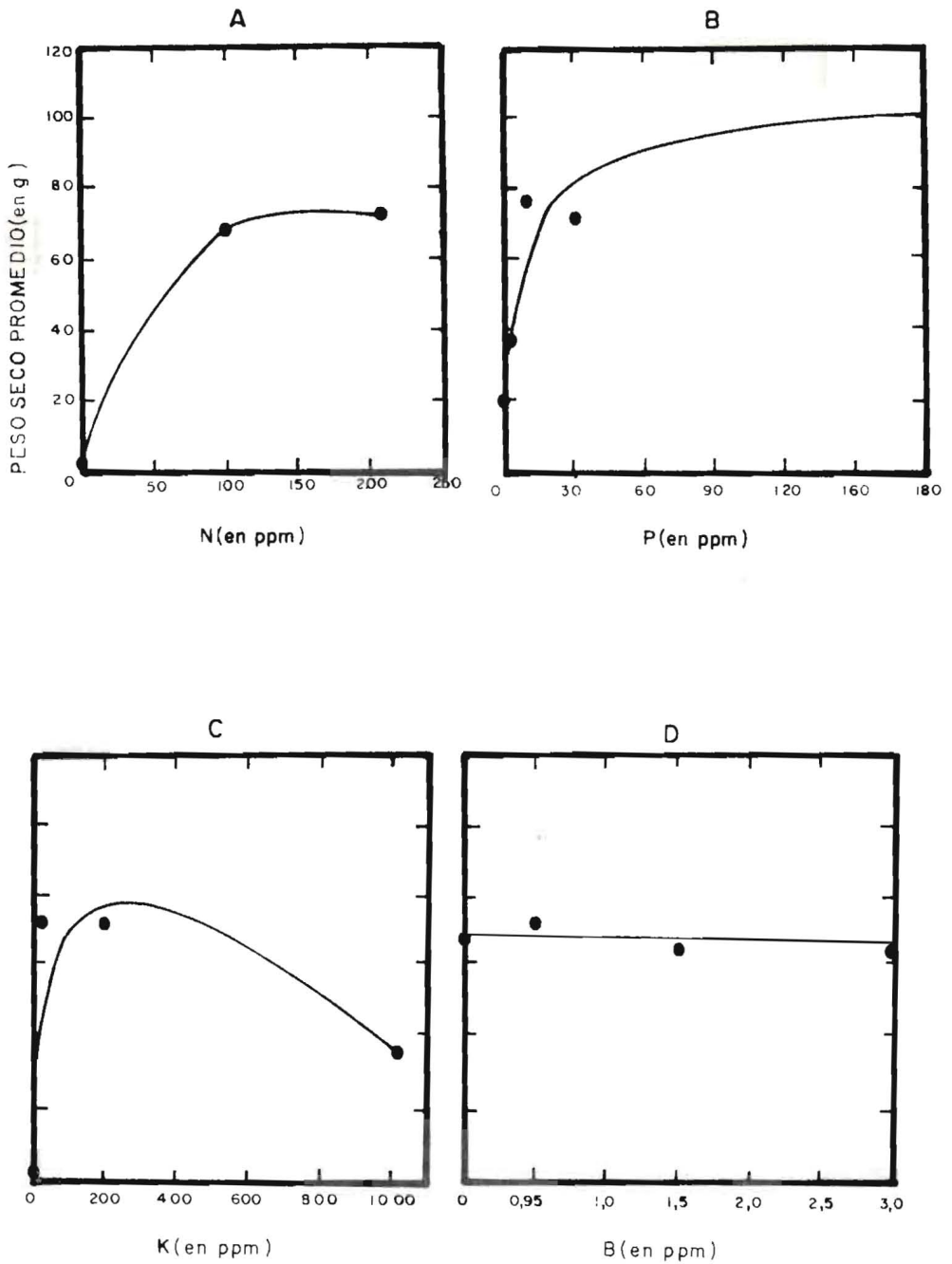


FIGURA 1: Relación entre el suministro de nitrógeno, fósforo, potasio y boro y la producción de biomasa (peso seco planta entera) en plántulas de *Eucalyptus saligna*.

CUADRO 4

Resultados del análisis foliar para cada uno de los tratamientos aplicados en plántulas de *Eucalyptus saligna*

TRATAMIENTOS	Elementos Mayores %					Elementos Menores ppm							Na %
	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn			
Completo*	1,84	0,22	1,39	0,85	0,31	29	7	120	76	40	0,10		
Sin Nitrógeno	0,89	**	2,74	1,04	0,36	49	21	39	889	94	0,11		
100 ppm N*	1,60	0,21	1,94	0,58	0,31	30	11	123	65	33	0,09		
Sin fósforo	1,29	0,05	0,87	0,91	0,25	36	12	63	38	26	0,10		
1 ppm P	1,81	0,09	1,76	1,70	0,28	27	7	137	41	26	0,08		
10 ppm P*	1,98	0,10	1,79	0,49	0,26	26	7	159	38	28	0,10		
180 ppm P*	2,11	0,23	1,43	0,48	0,24	33	10	129	71	36	0,10		
Sin Potasio	1,94	0,31	0,31	1,77	0,34	53	21	144	130	95	0,27		
10 ppm K	3,31	0,33	0,38	1,63	0,39	59	25	159	67	45	0,15		
20 ppm K*	1,97	0,27	0,46	1,34	0,37	46	20	232	101	55	0,15		
1000 ppm K	1,60	0,21	4,22	0,51	0,20	17	10	119	46	44	0,10		
Sin Boro	2,28	0,18	1,25	0,70	0,36	13	10	68	51	45	0,08		
1 ppm B	**	0,20	1,47	0,77	0,35	41	11	122	84	44	0,11		
3 ppm B	1,65	0,18	1,25	0,65	0,32	82	12	125	80	41	0,10		
Sin Magnesio	1,55	0,28	2,52	1,70	0,16	39	18	93	113	65	0,11		
Sin Calcio	1,63	0,17	1,55	0,14	0,42	35	12	94	71	41	0,12		

NOTA: Las concentraciones foliares correspondientes a los tratamientos señalados con (*) se consideran adecuadas ya que éstos fueron los mejores en el crecimiento en altura y producción de biomasa; además no se presentaron síntomas de deficiencias nutricionales, con base en esta información se han definido los rangos de niveles adecuados. En (***) hubo interferencia en la determinación.

cuada de nitrógeno: éstos valores corresponden a los tratamientos (20 ppm K, 10 ppm P y 180 ppm P) que presentaron mayor crecimiento en altura que los anteriores (Cuadro 3).

4.2 Fósforo

La deficiencia de fósforo se presentó en los tratamientos sin fósforo y 1 ppm de fósforo. El síntoma apareció en las hojas viejas a los 15 días de iniciada la aplicación de los tratamientos.

El síntoma más característico de deficiencia extrema consistió en una disminución en el tamaño de las hojas, deformación de éstas y desarrollo inicialmente en el envés y posteriormente en la haz de un color rojo púrpura (5RP 3/2) debido a la formación de antocianina (Foto 2); esta coloración púrpura fue el síntoma característico de las plántulas de *E. grandis* en un ensayo similar (LACEY *et al.*, 1966); en el tratamiento 1 1 ppm P sólo se afectaron las hojas viejas. La formación de ramas fue pobre; en un ensayo similar con la misma especie no se formaron ramas (WILL, 1961b). Se presentó un desarrollo radicular moderado y no hubo defoliación. La falta de fósforo limitó el crecimiento en altura y ocasionó baja producción de biomasa; ambos parámetros tuvieron diferencias significativas con el tratamiento completo (Cuadro 3).

El efecto de los diferentes suministros de fósforo en el peso seco de la raíz, vástago, planta entera y cociente de la raíz-vástago se registran en el Cuadro 5.

A medida que se aumenta la dosis de fósforo hay un aumento en la producción de peso seco hasta alcanzar el máximo en 10 ppm P a partir del cual se presenta una disminución progresiva en el peso seco de la raíz y un aumento muy leve en el de la planta entera (Fig. 1B) sin significación estadística (Cuadro 3). El cociente raíz/vástago tiende a disminuir a medida que aumenta el suministro de fósforo. La Fig. 2A muestra que un leve aumento desde cero hasta 10 ppm P en el suministro ocasiona respuestas grandes en el peso seco,

CUADRO 5

Producción de biomasa (Peso seco promedio) y cociente raíz-vástago en plántulas de *E. saligna* según los niveles de suministro de fósforo.

Suministro de P ppm	Peso seco promedio de plántulas (gr.)			Cociente Raíz/Vástago
	Raíz	Vástago	Planta entera	
0	7,1	13,6	20,7	0,52
1	8,6	29,6	38,2	0,29
10	16,9	59,3	76,2	0,28
31 (C)*	16,5	56,7	73,2	0,29
180	15,2	87,0	102,2	0,17

* Tratamiento completo o testigo

o sea que con el aumento en una ppm de P se produce un aumento de 7,6 g de peso seco. En el rango de 10 hasta 180 ppm de P, el aumento de 1 ppm de P sólo produce un aumento de 0,15 g.

Lo anterior permite concluir que el suministro de 10 ppm de P es suficiente para mantener un buen crecimiento en plántulas de *E. saligna* bajo las condiciones de éste experimento.

En la Fig. 2B se ha relacionado la concentración foliar de fósforo correspondiente al nivel de suministro de P del Cuadro 5 con el peso seco promedio en g/plántula. Por debajo de 0,10% P se presenta una baja producción de biomasa, las plántulas exhiben incrementos notables en el peso seco mientras que en la concentración foliar de fósforo el cambio es muy pequeño, ésta parte de la gráfica corresponde a la zona de deficiencia (DANIELS *et al*, 1982); por encima de 0,10% P es notorio un mayor aumento en la concentración de fósforo pero la producción de biomasa se mantiene casi nivelada, ésta parte de la gráfica corresponde a la zona de concentración foliar adecuada (DANIELS *et al*, 1982). Estas consideraciones permiten sugerir en forma preliminar a 0,10% P como límite inferior del nivel crítico en el follaje de plántulas de *E. saligna*, valor cercano a 0,11% P definido para *E. grandis* por LACEY *et al* (1966). El rango 0,05% P-0,09% P indica nivel de deficiencia extrema ya que son visibles los síntomas. Concentraciones en el rango de 0,21% P a 0,27% P se interpretan como indicadores de un suministro adecuado de fósforo; SCHONAU y HERBERT (1982) definieron que para un crecimiento satisfactorio de *E. grandis* se requiere una concentración foliar mínima de 0,17% P.

4.3 Potasio

La deficiencia de potasio fue visible en los tratamientos sin potasio y 10 ppm K; ésta apareció a los 15 días de iniciada la aplicación de los tratamientos.

En un estado de deficiencia extrema (Trat.—K) el tamaño de las hojas fué muy reducido, sus bordes tomaron una coloración rojiza y los ápices se necrosaron, posteriormente se enrollaron hacia la haz (Foto 3), tal malformación ocurrió principalmente en las hojas superiores. Hubo poca formación de ramas y reducción en la longitud de los internudos; en un ensayo similar con ésta especie sucedió lo mismo (WILL, 1961b). El sistema radicular se desarrolló pobremente. Como característica principal se debe anotar que el potasio fué el nutriente que produjo la mayor limitación en el crecimiento en altura y el menor peso de materia seca, tanto así que el crecimiento en altura presentó diferencias significativas al nivel del 5% con las alturas alcanzadas en los tratamientos - N, - P y - Mg (Cuadro 3). Cuando la deficiencia es moderada (Trat. 10 ppm K) es menor la limitación en el crecimiento en altura y mayor la producción de biomasa (Cuadro 3), las hojas aumentan de tamaño y en las más viejas se produce el síntoma más generalizado y conocido como deficiencia de potasio en especies de hoja ancha, o sea, la quemazón del borde de las hojas (Foto 3).

El efecto de los diferentes suministros de potasio en la producción de biomasa se resume en el Cuadro 6 y aparece graficado en la Fig. 1C. A medida que aumenta la adición de potasio hay un aumento en la producción de peso seco, pero a partir de 20 ppm K el rendimiento se estabiliza y posteriormente decae cuando el suministro alcanza 1.000 ppm K. En los niveles de suministro desde cero hasta 20 ppm K un leve incremento en la dosis de potasio ocasiona grandes incrementos en el peso seco, entre 20 ppm K y 195 ppm K aumenta considerablemente el suministro pero el rendimiento se mantiene estable. Lo anterior indica que 20 ppm de potasio son suficientes para mantener un buen crecimiento en plántulas de *E. saligna* (Cuadro 3). Un suministro de 1000 ppm de potasio es tóxico, puesto que la producción de biomasa disminuye significativamente al nivel del 1% en relación con la biomasa producida en los tratamientos con 20 ppm K y 195 ppm K respectivamente.

La Fig. 2C presenta la relación entre la producción de biomasa y el contenido foliar de potasio. Por debajo de 0,46% K la producción de biomasa es baja, las plántulas exhiben aumentos notables en el peso seco, mientras que, en la concentración foliar de potasio el cambio es muy pequeño. Por encima de 0,46% K es notorio un mayor aumento en la concentración foliar pero la producción de biomasa se mantiene nivelada, o inclusive disminuye cuando aumenta considerablemente la concentración foliar a 4,22% K. Se sugiere en forma preliminar que el rango del nivel crítico en el follaje de plántulas de *El saligna* estaría alrededor de 0,46% K. El rango de 0,31% K a 0,38% K indica deficiencia extrema de éste nutriente. Concentraciones de 1,29% K a 1,94% K indican un crecimiento satisfactorio. En *E. grandis* se definió como nivel adecuado a 0,7% K (SCHONAU y HERBER, 1982). Concentraciones sustancialmente mayores a 1,94% K inducen rendimientos decrecientes por toxicidad.

4.4 Magnesio

A los 15 días de iniciada la aplicación de las soluciones nutritivas ya había limitaciones en el crecimiento en altura en el tratamiento sin magnesio. Al finalizar el experimento el crecimiento en altura y la produc-

CUADRO 6

Producción de biomasa (Peso seco promedio) en plántulas de *E. saligna* según los niveles de suministro de potasio.

Suministro de potasio (ppm)	Peso seco promedio de plántulas (g)		
	Raíz	Vástago	Planta entera
0	0,4	2,3	2,7
10	6,4	27,3	33,7
20	10,4	62,7	73,1
195*	16,5	56,7	73,2
1000	8,2	29,3	37,5

* Tratamiento completo o testigo.

Foto No. 1:
Deficiencia de
Nitrógeno



Foto No. 2:
Deficiencia de
Fósforo

Foto No. 3:
Deficiencia de
potasio





Foto No. 4:
Deficiencia de
Magnesio

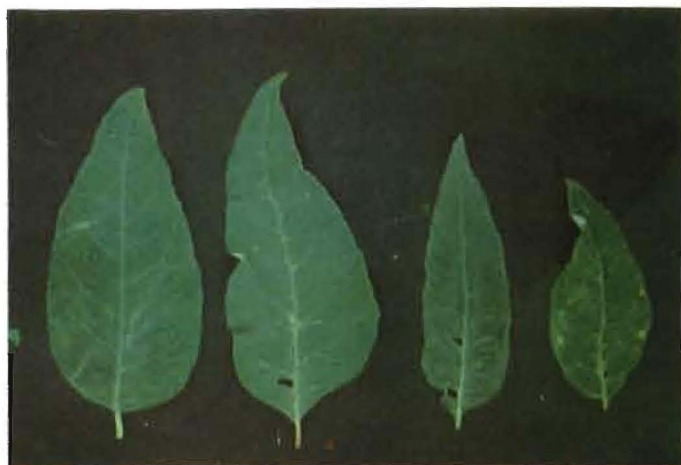


Foto No. 5:
Deficiencia de
Calcio



Foto No. 6:
Deficiencia de
Boro

ción de biomasa son mayores que en las plántulas con deficiencia de nitrógeno y potasio pero menores que en las plántulas con deficiencia de fósforo, solamente el crecimiento en altura supera significativamente al nivel del 1% a las plántulas con deficiencia de potasio (Cuadro 3) y como es lógico éste y la producción de biomasa presentaron diferencias significativas al nivel del 1% con respecto al tratamiento completo (Cuadro 3). En un estado avanzado de la deficiencia (3 meses más tarde), el follaje de las plántulas se torna clorótico, la clorosis se inicia en la base y avanza hacia la parte superior de la plántula. Las hojas son más pequeñas que las normales, las basales más reducidas en tamaño que las superiores, adquieren un color rojo púrpura (5 RP 4/8) interrumpido por manchas cloróticas distribuidas irregularmente en el limbo (Foto 4) y luego se caen; en un ensayo similar con la misma especie las hojas por el contrario fueron más grandes que las normales (WILL, 1961b). Las hojas superiores toman un color verde amarillento (2.5 GY 8/7) que se distribuye irregularmente en el limbo, no se distingue claramente la clorosis intervenal característica en especies de hoja ancha (DE LANUZA y MUÑOZ-COBO, 1969; BAULE y FRICKER, 1970; PRITCHETT, 1979). Hubo poca formación de ramas y el desarrollo radicular fue pobre.

En plántulas de *E. saligna* son indicadores de una deficiencia extrema contenidos foliares próximos a 0,16% Mg, mientras que, contenidos foliares entre 0,24% Mg y 0,37% Mg corresponden a una nutrición adecuada (Cuadro 4).

4.5 Calcio

La deficiencia de calcio comenzó a notarse en un estado avanzado de desarrollo de las plántulas, aproximadamente 3 meses después de iniciada la aplicación de las soluciones nutritivas. Las hojas conservaron su tamaño normal. En general éstas tenían la margen irregular, en algunas ocurrió necrosis y muerte del ápice. Como característica principal se destacó la formación de unos puntos amarillos que se distribuyeron irregularmente en el limbo; en un estado avanzado de deficiencia tales puntos se convirtieron en ranuras (Foto 5), síntoma que fue visible en las hojas viejas e intermedias de las ramas. Hubo abundante formación de ramas y el desarrollo radicular fue pobre. La falta de calcio no limitó el crecimiento en altura e inclusive superó a la alcanzada por las plántulas en el tratamiento completo (Cuadro 3). En cuanto a la producción de biomasa si hubo diferencias significativas con el tratamiento completo al nivel del 1% (Cuadro 3). Los brotes fueron débiles y se observó defoliación de hojas viejas.

En plántulas de *E. saligna* son indicadores de deficiencia extrema de calcio contenidos foliares de 0,14% Ca y concentraciones entre 0,48% Ca y 1,34% Ca corresponden a niveles adecuados (Cuadro 4).

4.6 Boro

La manifestación de los síntomas de la deficiencia de boro se evidenció en un estado avanzado de desarrollo de las plántulas. Los síntomas vi-

suales se localizaron en las ramas intermedias en donde las hojas que además de conservar su tamaño normal, sufrieron engrosamiento, se volvieron quebradizas, las invadió una clorosis intervenal (2.5 GY 8/10) y se arrugaron tomando formas diferentes especialmente de cuchara o paraguas (Foto 6). Hubo abundante formación de ramas, similar a las plántulas del tratamiento completo. El desarrollo radicular fué moderado. El crecimiento en altura y la producción de biomasa no tuvieron diferencias significativas con las plántulas del tratamiento completo (Cuadro 3).

No se observó la muerte descendente típica de la deficiencia de boro; parece que *E. saligna* no sufre éste problema. Este resultado coincide con las observaciones de SAVORY (1962) realizadas en árboles de la misma especie.

Las aplicaciones de los diferentes suministros de boro no produjeron efectos significativos en el crecimiento en altura y materia seca (biomasa), Cuadro 3, Fig. 1D, tal vez, *E. saligna* en el período inicial de crecimiento sea poco exigente en boro o la reserva de boro en las semillas es suficiente para la etapa inicial de desarrollo.

La relación entre la concentración foliar de boro y la producción de biomasa (Fig. 2D) no tiene la tendencia típica que se presenta en éste tipo de curvas (DANIELS *et al*, 1982), por tanto, no es posible definir una aproximación al nivel crítico. A la luz de los resultados, es evidente que, con un contenido foliar de 13 ppm B son visibles los síntomas de deficiencia de boro aquí descritos, así no haya limitaciones en el crecimiento en altura y producción de biomasa, mientras que el rango de 26 ppm a B-46 ppm B representa un nivel adecuado.

5. CONCLUSIONES

- 5.1 En plántulas de *E. saligna* las deficiencias de potasio, nitrógeno, magnesio y fósforo limitan fuertemente su crecimiento en altura y producción de biomasa; el efecto de la falta de potasio es más drástico que el ocasionado por la falta de nitrógeno, magnesio y fósforo. La deficiencia de calcio no limita el crecimiento en altura pero sí la producción de biomasa debido, primordialmente, al pobre desarrollo radicular. La deficiencia de boro no limita el crecimiento en altura ni la producción de biomasa.
- 5.2 El síntoma visual de la deficiencia de nitrógeno se caracteriza por una clorosis total de follaje, las hojas viejas toman un color rojizo con puntos púrpura. En la deficiencia de fósforo las hojas viejas adquieren un color púrpura debido a la formación de antocianina. En la deficiencia extrema de potasio las hojas reducen considerablemente su tamaño y se enrollan hacia la haz, en una deficiencia moderada ocurre en las hojas viejas una quemazón marginal. Las hojas en la deficiencia de magnesio aparecen cloróticas, las hojas viejas adquieren un color púrpura interca-

lado con manchas cloróticas. La deficiencia de calcio produce en las hojas una margen irregular y ranuras en el limbo. A las hojas con deficiencia de boro las invade una clorosis intervenal y sufren arrugamiento.

- 5.3 Suministros de 100 ppm N, 10 ppm P, 20 ppm K y 0,5 ppm B son suficientes para mantener un buen crecimiento en plántulas de *E. saligna* cultivadas en arena de cuarzo.
- 5.4 Usando el contenido foliar de nutrientes son indicadores de deficiencia concentraciones de: 0,9% N; 0,5% P a 0,09% P; 0,31% K a 0,38% k; 0,16% Mg; 0,14% Ca y 13 ppm B. Indican nutrición adecuada los rangos: 1,6% N a 2,1% N; 0,21% P a 0,27% P, 1,29% K a 1,94% K; 0,24% Mg a 0,37% Mg; 0,48% Ca a 1,34% Ca y 26 ppm B a 46 ppm B. En forma preliminar se considera a las concentraciones 0,10% P y 0,46% K como niveles críticos en el follaje para el crecimiento de plántulas de *E. saligna*.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al señor Francisco López, auxiliar de la Sección de Nutrición Forestal, por su permanente atención al ensayo durante el año en que permaneció en el invernadero. También testimonian su gratitud al Laboratorio AES del ingeniero Químico Darío Monsalve y a los Laboratorios de Suelos y Bromatología y Nutrición de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Medellín, por la colaboración en los análisis foliares.

7. BIBLIOGRAFIA

- BUALE, H. y FRICKER, C. 1970. The fertilizer treatment of forest trees. BLV. München. 259 p.
- CONTRERAS, D. y GUZMAN, O. 1983. Mineralización del nitrógeno en un suelo volcánico bajo diferentes coberturas de vegetación. Seminario Escuela de Tecnología Forestal Universidad Nacional de Medellín: Los Autores. 58 p.
- CORREA, J. 1978, Manual del laboratorio de fisiología vegetal. Centro de Publicaciones U. N. Medellín, 51 p.
- DANIELS, P. W., HELMS, U. E. y BAKER, F. S. 1982. Principios de silvicultura. México: McGraw Hill. 492 p.
- DE LANUZA, J. M. y MUÑOZ-COBO, M. 1969. Síntomas de deficiencias de elementos minerales en *Eucalyptus globulus*. Madrid: Instituto de Investigaciones y Experiencias comunicación No. 48 9 p.

- GAINES T.P. y MITCHELL, G.A. 1979. Chemical methods for soil and plant analysis. University of Georgia, Coastal Plain Experiment Station. Agronomy Handbook No. 1, 105 p.
- LACEY, C. J., LEAF, A. L. and TALLI, A. R. 1966. Growth and nutrient uptake by flooded gum seedlings subject to various phosphorus supplies. *Australian Forestry*, 30 (3): 212-222.
- MANCINI, S. 1981. Curso de diseño experimental. Medellín: Centro de Publicaciones, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. 131 p.
- MUNSELL COLOR CORPORATION. 1977. Munsell color chart of plant tissue. 2. ed., revised. Baltimore, Maryland 19 p.
- OLARTE, L. I. *et al*, 1979. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. Bogotá, IGAC. 664 p.
- PRITCHETT, W.L. 1979. Properties and management of forest soils. New York, John Wiley. 500 p.
- SAVORY, B. M. 1962. Boron deficiency in *Eucalyptus* in northern Rhodesia. *The Empire Forestry Review* 41 (108): 118-126.
- SCHONAU, A. P. G. y HERBERT, M. A., 1982. Relationship between growth rate and foliar concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium for *Eucalyptus grandis*. Wattle Research Institute, University of Natal, Pietermaritzburg, Republic of South Africa. Paper No. 120.
- WILL, G. M. 1961a. The mineral requirements of radiata pine seedlings. Forest Research Institute, New Zeland Forest Service. Technical Paper 37: 309-327.
- — — — — .1961b. Some changes in the growth habit of eucalyptus seedlings caused by nutrient deficiencies. *The Empire Forestry Review* 40 (106): 301-307.