

**MEMORIAS:  
SEMINARIO TÉCNICO**

**FERTILIZACIÓN FORESTAL  
Santiago, Veraguas - Panamá**

**3 de julio de 1995**

# **MEMORIAS: SEMINARIO TÉCNICO**

## **FERTILIZACIÓN FORESTAL Santiago, Veraguas - Panamá**

**3 de julio de 1995**

**Organizado por:**

**Proyecto MADELEÑA - 3  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE**

**Instituto de Recursos Naturales Renovables - INRENARE**

**Patrocinado por:**

**CATIE, INRENARE**

**Editor:** Ricardo V. Osorio C., T.F.

**Diagramación y  
Levantado de Texto:** Sandy P. Mosquera G.

**Revisión de Texto:** Blas F. Morán

**Santiago - Veraguas, Junio de 1995**

## CONTENIDO

### Presentación

Ing. Blas Morán - Coordinador Proyecto MADELEÑA 3 - CATIE

- Algunos Aspectos del Manejo de Suelos Forestales . 1  
Ing. Alfredo Alvarado y Gabriela Soto
- Cultivos en Callejones en un Ultisol Ácido  
Ing. Noé Aguilar, Alexis Samiduio y Felicita González
- ✕ Dinámica de Crecimiento en Teca (*Tectona grandis*) L. bajo Fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera - Panamá  
Víctor Manuel Montero
- ✕ Técnica de Muestreo de Suelo para Evaluación de la Fertilidad, en el Establecimiento de Plantaciones Forestales  
Ing. Arturo Cerezo
- ✕ Respuesta Inicial de *Tectona grandis* L.F. (Teca) a la Fertilización con Estiércol, Ceniza, KCL y PNK en Guanacaste, Costa Rica  
Jaime Raigosa, Luis Ugalde A. y Alfredo Alvarado
- Productividad y Respuesta de *Eucalyptus grandis* a Diferentes Tratamientos de Espaciamiento y Fertilización en Turrialba, Costa Rica ✓  
Luis Ugalde A. y William Vásquez
- ✕ Fertilización de Plantaciones Forestales en la Reservá Forestal La Yeguada, Panamá  
William G. Dyson
- \ Crecimiento de los Árboles y los Elementos Nutrientes Esenciales  
C. B. Davey
- \ Elaboración y Propiedades de los Fertilizantes Útiles en el Campo Forestal ✓  
Phillip G. Cannon
- \ Ciclo de Nutrientes en Plantaciones ✓  
Philip G. Cannon
- \ Fertilización en el Vivero ✓  
Philip G. Cannon, Gilberto Montenegro y Fernando Guzmán ✓

Lista de Participantes del Seminario

## **PRESENTACION**

La silvicultura de plantación ha tomado un interés creciente desde que se aprobó y promulgó la Ley 24, sobre los Incentivos a la Reforestación. Específicamente en Panamá hay un creciente interés en sembrar árboles con fines industriales, utilizando grandes extensiones de tierra en toda la República de Panamá.

Los suelos en Panamá tienen diferentes características químicas y su estructura física difiere significativamente, existiendo además variaciones en los pH de igual manera.

Con la finalidad de ilustrar y facilitar información al sector forestal y a todos los que estamos involucrados de una forma u otra en su desarrollo, sean profesionales de la rama forestal o reforestadores, el Proyecto MADELEÑA presenta una recopilación de los trabajos y experiencias que se dictaron en el Seminario Técnico de Fertilización Forestal, realizado el 3 de julio de 1995, en Santiago de Veraguas.

El seminario fue propicio para analizar la situación de uso de nutrientes al momento de la siembra, los métodos y formas de realizar análisis apropiados de suelo y la respuesta en crecimiento utilizando una adecuada dosis de fertilizante.

Presentamos a su consideración la Memoria del Seminario Taller. El cual debe ser el inicio de un nuevo entendimiento para hacer mejor las cosas en plantaciones puras y un avance general en la silvicultura de plantación.

---

**Ing. Dayal González**  
**Directora. Nacional**  
**Proyecto Madeleña-3**  
**INRENARE**

---

**Ing. Blas Morán**  
**Coord. Nacional**  
**Proyecto Madeleña-3**  
**CATIE**

---

## ALGUNOS ASPECTOS DEL MANEJO DE SUELOS FORESTALES

Alfredo Alvarado\*  
Gabriela Soto\*\*

### I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la ciencia forestal en América Latina ha sido muy acelerado en las últimas décadas. Los esfuerzos de capacitación de algunas escuelas en Chile, Costa Rica y Venezuela, sumados a los cambios en comportamiento de la población general, debido a la influencia de los grupos ambientalistas han rendido sus frutos. Al presente, varios gobiernos de la región, han promovido la reforestación a través de incentivos económicos, y la creación de Parques y Reservas Nacionales, esfuerzos que sumados a la participación de la empresa privada en plantaciones industriales, requieren de un mayor conocimiento de los factores edáficos que afectan las plantaciones.

En este sentido el presente trabajo tiene como objetivo resumir los aspectos de manejo de plantaciones forestales que al presente se consideran de mayor relevancia en la región. Otros trabajos (Armson, 1977; Evans, 1982; de las Salas, 1987) resumen en forma generalizada los conceptos teóricos básicos de los suelos forestales de América Latina, que no serán discutidos en esta oportunidad.

A continuación, se discutirá la relevancia de los Índices de Sitio en el crecimiento de los árboles (adaptación de plantas a diferentes ecosistemas, correlaciones de índice de sitio y factores edáficos y biodiversidad), así como diferentes mecanismos de nutrición de especies forestales (concentraciones foliares de nutrimentos, contribución del mantillo a la nutrición, respuesta a la fertilización, el encladío y a micorrizas).

### II. RELEVANCIA DE LOS ÍNDICES DE SITIO

Los esfuerzos por agrupar plantas de acuerdo a sus exigencias climáticas y edáficas no son nada nuevo (Gausson, 1956), aunque los enfoques han cambiado con el tiempo. A continuación se mencionan algunos de los factores ambientales que determinan la adaptación de especies forestales:

#### 1. Ambientales

Tierra firme, agua dulce, manglares, etc.

2. **Climáticos**  
Tropical, templado, desértico, etc.
3. **Fisiológicos**  
Luz, viento, sequía, temperatura, etc.
4. **Edáficos**  
Arenosos, poco profundos, orgánicos, ácidos, básicos, salinos, etc.

Para considerar la selección de un sitio (Davey, 1990), deben tenerse en cuenta los factores de sitio (exposición de la pendiente, precipitación, heladas, etc.), los factores edáficos (profundidad de la tabla de agua, riesgo de inundación, textura y estructura del suelo, aireación, profundidad de capas duras, contenido de materia orgánica, pH, estado nutricional, capas de carbonatos, capas de sales solubles o presencia de sustancias tóxicas), y los factores bióticos (competencia de la vegetación de malezas, problemas de roedores, vida silvestre, ganado y presencia de hongos micorrízicos, etc.).

La escogencia de los sitios para plantaciones forestales, y la definición de los parámetros que permiten realizar esta labor, se inicia a principios de siglo (1906) y continúa hasta el presente (Hudson, 1983). En áreas tropicales estos esfuerzos son más contemporáneos, y en Centroamérica los trabajos más recientes son los de COSEFORMA (1994) en la zona norte y de Vásquez y Ugalde (1994) en el pacífico seco de Costa Rica.

En los trabajos de COSEFORMA (1994) y Vásquez y Ugalde (1994) se definen índices de sitio para *Gmelina arborea*, *Cordia alliodora*, *Tectona grandis*, y *Bombacopsis quinatum*, obteniéndose correlaciones entre el índice de sitio y los factores ambientales que lo determinan. A continuación se presentan las ecuaciones de regresión múltiple entre los índices de sitio ( $IS_{i0}$ ) y los factores ambientales con significancia estadística (densidad aparente = DA; años de uso anterior = UA; grosor del epididón = EPI; distancia a la cima = DIC; pendiente = PEN; viento = VI; precipitación = PPT; contenido de calcio = CA; contenido de magnesio = MG), para las especies mencionadas:

$$IS \text{ melina} = 41 - 3.1 DA + 2.5 UA + 0.3 EPI + 3 DIC$$

$$IS \text{ melina} = 17.3 + 2.6 DIC - 2.8 VI + 0.2 CA$$

$$IS \text{ laurel} = 7.1 - 9.2 DA + 0.43 UA + 0.4 EPI + 0.47 DIC + 0.11 PEN$$

$$IS \text{ teca} = 2.2 + 0.01 PPT + 0.18 CA$$

$$IS \text{ pochote} = 14.8 - 2.4 VI + 0.36 MG$$

De las ecuaciones anteriores se desprende que laurel y teca presentan una velocidad de crecimiento más lenta (interceptos menores de 10) que las otras especies. Además, otros factores ambientales pesaron mucho más que los factores edáficos. Sin embargo, al bloquear los datos por clasificación taxonómica de suelos, se puede estimar con mayor precisión la importancia relativa de los factores edáficos, como los demuestran Mora (en prensa) y Herrera (comunicación personal, 1995). En este último caso, se estudiaron *Hyeronimia* y *Vochysia*, siendo el fósforo y la textura, los factores más importantes que afectaron el crecimiento de los árboles.

Una vez determinado el índice de sitio, pueden decidirse las especies que deben plantarse en cada uno de ellos. Vásquez y Ugalde (1994), recomiendan plantar *Pinus caribaea* y *Acacia mangium* en sitios malos, y *Bombacopsis quinatum*, *Schizolobium parahybum*, y *Tectona grandis*, en sitios buenos. Los estudios de Hudson (1980), en el bosque natural de La Selva, en Costa Rica, demuestran que entre más baja sea la fertilidad del suelo, mayor es la biodiversidad de especies en bosques primarios y secundarios, por lo que en sitios malos, podría sugerirse plantar más de una especie.

En el Cuadro 1 se mencionan algunas especies dominantes en algunos órdenes de suelos, lo que enfatiza la idea original de Gaussen (1956). Este tema es relevante en la discusión de índices de sitio, pues especies adaptadas a una condición determinada, obviamente presentarán un crecimiento (Índice de sitio) malo cuando se ubican en un ambiente desfavorable.

**CUADRO 1**  
**Algunas Especies Forestales Tropicales Adaptadas**  
**a Condiciones Edáficas Específicas**

Orden de Suelo	Especies
Ultisoles y Oxisoles	<i>Simarouba</i> sp., <i>Nectandra</i> sp., <i>Hymenea</i> sp., <i>Iryanthera</i> sp., <i>Lecythis</i> sp., <i>Jusenía</i> sp., <i>Oenocarpus</i> sp.
Inceptisoles (Aquepts)	<i>Bombax</i> sp., <i>Manilkara</i> sp., <i>Hevea</i> sp., <i>Protium</i> sp., <i>Prioria copaifera</i> , <i>Carapa guianensis</i> , <i>Anacardium excelsum</i> , <i>Virola</i> sp., <i>Pterocarpus officinalis</i> ; y en manglares: <i>Mora magitosperma</i> y <i>Euterpe cuatrecasama</i>
Vertisoles	<i>Acacia senegal</i> , <i>Acacia mellifera</i> , <i>Codaba rotundifolia</i>
Aridisoles	<i>Acacia arabiga</i> , <i>Buttea monosperma</i> , <i>Capparis aphilla</i> , <i>Capparis horrida</i> , <i>Prosopis juliflora</i>



Así como el ambiente determina el crecimiento de las especies forestales; a su vez, algunas de estas especies modifican el ambiente edáfico. De esta manera, sitios parcialmente marginales pueden corregirse con el tiempo cuando la especie cubre el terreno. Ejemplos importantes son especies que acumulan calcio y magnesio (Duchaufour, 1977), modifican la temperatura y el contenido de humedad del suelo, y a través de micorrización, aumentan la disponibilidad de fósforo (Malajczuk, et al., 1994), etc.

### III. RECICLAJE DE NUTRIMENTOS EN ESPECIES FORESTALES

En general el conocimiento de los requerimientos nutricionales de plantaciones forestales en los trópicos sigue siendo limitado, en particular cuando se trata de especies nativas. A continuación se discutirán algunos aspectos considerados como necesarios para mejorar en forma sustancial el crecimiento de este grupo de especies.

Drechsel y Zech (1991) realizaron una recopilación de datos sobre contenidos nutricionales de alrededor de 40 especies africanas tropicales y sub-tropicales de hoja ancha, incluyendo tanto elementos mayores como elementos menores. No obstante que se mencionan niveles de deficiencia, bajos, intermedios, altos y tóxicos, hasta no realizar un esfuerzo similar en América Latina, estos niveles deben considerarse como guía, entre otros porque no mencionan rangos de significancia estadística, tal cual lo propone Ballard (1976). Por ejemplo, la concentración de aluminio foliar en todas las especies de África osciló entre 9 y 1240 ppm de Al, mientras que Pérez, Bornemisza y Sollins (1993) encontraron valores hasta de 20000 ppm en *Vochysia hondurensis*, en La Selva, Costa Rica.

El enfoque más común en cuanto a nutrición forestal, trata sobre el reciclaje de nutrientes y la contribución del mantillo dentro del mismo. Cuevas y Medina (1986) incluyen en su trabajo, un cuadro de resumen en el cual mencionan adiciones del mantillo de hoja un promedio de 6.6 Ton/Ha/año de mantillo en bosques del trópico húmedo, de África, Asia y América. Esta adición contribuye en promedio con 12.2 mg de N, 0.47 mg de P, 3.3 mg de K, 11.4 mg de Ca y 2.6 mg/g materia seca.

En un estudio que considera el contenido de nutrientes de la vegetación, la madera muerta, el mantillo y el suelo, Jordan (1982) muestra que, después del suelo, la mayoría de los nutrientes del ecosistema del bosque tropical húmedo, se encuentra en los árboles vivos, y en menor proporción en el mantillo y en la madera muerta. Sin embargo, la contribución de los dos primeros componentes a la nutrición dinámica de las especies forestales tiene más relación con la fracción mineral que se desprende del mantillo y la madera muerta (Cuevas y Medina, 1986).

Si bien los estudios anteriormente mencionados se ven en forma global las transformaciones de nutrientes en el bosque, no todas las especies que lo componen

aportan la misma cantidad. Montagnini y Sancho (1994b) estudiaron la contribución de *Stryphnodendrum excelsum*, *Vochysia ferriginea*, *Vochysia hondurensis* y *Hyeronimia alchorneoides*, al bosque húmedo tropical de La Selva, Costa Rica, encontrando que *S. excelsum* contribuye con la mayor cantidad de N, *V. hondurensis* con la mayor cantidad de Ca y Mg, mientras *H. alchorneoides* contribuye con las cantidades máximas de K y P. No obstante que estas especies presentan esas variaciones y *Vochysia* sp. tiene contenidos elevados de aluminio (Pérez, Bornemisza y Sollins, 1993), el efecto de su mantillo sobre las propiedades del suelo es mínimo hasta los 55 meses evaluados (Montagnini y Sancho, 1994a).

En términos de extracción de nutrimentos/año/cosecha de madera, las especies forestales de hoja ancha tienen mayores requerimientos que las de hoja angosta. Con relación a cultivos agrícolas, los requerimientos forestales son muy inferiores en cuanto a nutrimentos se refiere, si se expresan en términos de kilo/Ha/año; sin embargo, cuando se considera el volumen acumulado de nutrimentos que se exporta, la madera extrae mucho más que cualquier cultivo anual (Cuadro 2). A razón de lograr un mejor retorno por kilo de fertilizante exportado como madera, de Graaf (1982), considera que es mucho más conveniente exportar madera de alto valor económico que producto para pulpa o maderas suaves.

**CUADRO 2**  
**Extracción de Nutrimentos por Cosecha de Madera o Cultivos**  
**Expresados como Promedio Anual**

ESPECIE	(Kg/Ha/año)			
	N	P	K	Ca
<i>Eucalyptus globulus</i>	24	2.5	11	75
<i>Pinus radiata</i>	7	1.0	20	6
<i>Pinus silvestris</i>	3	0.4	2.6	4
<i>Triticum aestivum</i>	83	18.0	60	15
<i>Musa</i> spp.	60	7.0	180	80

Compilado de varios autores

A pesar de los bajos requerimientos nutricionales por año de las especies forestales, la respuesta a la fertilización ha sido mencionada por varios autores (Evans,

1982), como puede observarse en el Cuadro 3. Esta respuesta es muy notoria en suelos deficientes en elementos esenciales tanto en edades tempranas del crecimiento, como en edades posteriores cuando los árboles absorben la mayor cantidad de los mismos. Sin embargo, prácticas como encalado en suelos ácidos e inoculación con micorrizas, son muy relevantes al repique de las plántulas por cuanto aseguran un mayor prendimiento y crecimiento de copa, con lo cual la plantación adquiere mayor capacidad de competencia contra las malezas (Delgado, et al., 1991; Alvarado, Soto y Montagnini, 1994).

**CUADRO 3**

**Respuesta a la Fertilización de Varias Especies Forestales. (tomado de Evans, 1992).**

ESPECIE	ALTURA DE ÁRBOL (m)			
	INICIO (1968)		FINAL (1971)	
	(-)	(+)	(-)	(+)
<i>Pinus caribaea</i>	0.5	0.8	1.5	4.2
<i>Pinus kesiya</i>	0.3	0.4	1.1	4.0
<i>Eucaliptus deglupta</i>	0.8	1.5	3.7	7.6
<i>Eucaliptus ternicornia</i>	0.9	2.0	2.8	4.8
<i>Terminalia brasii</i>	0.5	1.1	2.5	4.7
<i>Terminalia complarata</i>	0.4	muerto	0.8	1.3
<i>Tectona grandis</i>	0.2	muerto	2.6	3.0
<i>Acacia auriculiforme</i>	1.8	4.0	2.7	9.7
<i>Pterocarpus indicus</i>	0.8	0.7	1.3	1.6
<i>Intsia bijuga</i>	0.6	0.4	0.5	1.0

(+) 500 Kg/Ha fertilizante 17-5-22

La respuesta de especies forestales basófilas al encalado es muy notoria; Delgado, et al. (1991) encontraron un mayor crecimiento de *Cordia alliodora* y *Gmelina arborea* al aplicarles 200 g de cal y 150 g de fertilizante 15-15-15 por árbol, a la siembra, en la Amazonia Boliviana. Sin embargo, las especies acidófilas no responden a la aplicación de este insumo (Cuadro 4), siendo este el caso de *Vochysia* sp., y *Calophyllum brasiliense*, mientras que *Virola koschnyi* mostró una disminución en el crecimiento, al incrementarse las dosis de cal (Soto y Alvarado, en prensa).

**CUADRO 4**  
**Respuesta de Cuatro Especies del Bosque Húmedo Tropical a la Aplicación de Cal en el Primer Año de Crecimiento. La Selva, Sarapiquí**

Dosis de cal g/árbol	<i>Vochysia ferruginea</i>		<i>Virola koehnyi</i>		<i>Hieronymis alchorneoides</i>		<i>Calophyllum brasiliense</i>	
	Altura (cm)	Diámetro de la base (cm)	Altura (cm)	Diámetro de la base (cm)	Altura (cm)	Diámetro de la base (cm)	Altura (cm)	Diámetro de la base (cm)
0	69.2	14.6	105.8a	21.0a	203.9	41.4	115.7	11.6
150	56.5	9.5	100.0a	18.3a	206.7	41.1	115.4	11.5
300	59.45	10.1	88.9b	14.9b	221.5	43.6	115.3	10.7
450	73.41	14.2	77.6b	14.3b	194.2	42.7	109.3	11.3

Otro enfoque para mejorar la nutrición de especies forestales es a través de la inoculación con *Rhizobium* y con micorrizas, a nivel de vivero; de esta manera, se mejora la fijación biológica de nitrógeno y la absorción de P (Powell, 1984). Malajczuk, et al. (1995), mencionaron que la inoculación de especies forestales con micorrizas vesiculoarbusculares (MVA) en Asia, ha incrementado el crecimiento desde dos hasta seis veces con relación al tratamiento sin inocular. Es curioso que no se mencione respuesta a la aplicación de ectomicorrizas, las cuales también se asocian con varias familias y especies forestales. Como lo menciona Davey (1990), la inoculación con MVA no solamente aumenta el crecimiento de los árboles, sino que puede hacer la diferencia entre sitios considerados como marginales al lograrse crecimientos normales para sitios promedio, mientras que, en sitios buenos la respuesta a la micorrización es no significativa.

#### IV. RESUMEN

El crecimiento de los árboles varía según la calidad del sitio en que se plante, concepto desarrollado a principios de siglo, al reconocerse los efectos ambientales, climáticos, fisiológicos y edáficos, sobre el crecimiento de las plantas. Al mismo tiempo, se desarrolló el concepto de Índice de Sitio, lo que permitió establecer correlaciones entre el crecimiento del árbol y otras variables ambientales en forma más precisa.

La nutrición de las especies forestales depende de la calidad del sitio y el éxito de un plantación depende de utilizar especies aptas para ese sitio y con una fertilización adecuada. Los árboles de hoja ancha requieren más nutrimentos que los de hoja angosta y responden a su adición a cualquier edad. De la misma manera, la respuesta al encalado de especies basófilas es muy notoria en suelos ácidos. Bajo condiciones

naturales la descomposición del mantillo es suficiente para suplir las necesidades nutricionales de los árboles; sin embargo, en proyectos de reforestación en terrenos deforestados por largo tiempo, se requiere además inocular con hongos micorrízicos y en caso necesario con bacterias fijadoras de nitrógeno.

## V. LITERATURA CITADA

ALVARADO, A., SOTO, G., y MONTAGNINI, F. 1994. Efecto del encalado al trasplante sobre el crecimiento inicial de algunas especies forestales en suelos ácidos tropicales. Workshop on Nitrogen Fixing Trees in Acid Soils. CATIE, Costa Rica.

BALLARD, R. 1976. Effect of first rotation phosphorus applications on fertilizers requirements of second rotation radiata pine (A99-102, River head forest). New Zealand Forest Service, Forest Research Institute, Soils and Site Productivity Report No. 74. New Zealand.

COSEFORMA, 1994. Metodología práctica para la identificación de sitios para reforestación en la zona norte de Costa Rica, en especial con melina y laurel. Documento de Proyecto #39. San José, Costa Rica.

CUEVAS, E. y MEDINA, E. 1986. Nutrient dynamics within Amazonian forest ecosystems. I. Nutrient flow in fine litter fall and efficiency of nutrient fertilization. *Oecología*. 68: 466-472.

DAVEY, C. B. 1990. Notas del curso de suelos forestales. North Carolina State University. Raleigh, NC. USA.

DELGADILLO, R., ALDUNATE, J. y ALVARADO, A. 1991. Situación de la agroforestería en el subtrópico húmedo, de la región del Chapare, Bolivia. In: T. J., Smyth, W. R. Raun, y F. Bertsch. (eds.) Manejo de Suelos Tropicales en Latino América. Segundo Taller Latinoamericano de Manejo de Suelos Tropicales. San José, Costa Rica. pp. 257-263.

DRECHSEL, P. y ZECH, W. 1991. Foliar nutrient levels on broad-leaved tropical trees: a tabular review. *Plant and Soil*. 131: 29-46.

DUCHAFOUR, P. 1977. *Pedologie*. 1. Pédogénèse et classification. Masson. Paris. France.

EVANS, J. 1982. *Plantation forestry in the tropics*. Clarendon Press & Oxford. USA.

GAUSSEN, M. S.. 1956. *Geographie des plantes*. Armand Colin, Prais. France.

- GRAAF, N. R. de. 1981. Sustained timber production in the tropical rainforest of Suriname. In: J. F. Wienk, y H. A. de Wit. (eds.). Workshop on the management of low fertility acid soils of American Humid Tropics, realizado en Paramaribo, Surinam. IICA, San José, Costa Rica. pp. 175-190.
- HUDSON, B. D. 1983. The use of soil classification to predict forest site quality on the Southesatern Coastal Plain. Thesis Ph.D.. Department of Soil Science. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- JORDAN, C. F. 1982. The nutrient balance of an Amazonian Rain Forest. *Ecology*. 61:14-18.
- MALAJCZUK, N., JONES, N. y NEELY, C. 1995. The importance of mycorrhiza for forest trees. Astag Technical Papers. Land Resources Series. No. 2. banco Mundial. Washington, USA.
- MONTAGNINI, F. y SANCHO, F. 1994a. Aboveground biomass and nutrients in young plantations on indigenous trees on infertile soils in Costa Rica: implications from site nutrient conservation. *Journal of Sustainable Forestry*. 1(4): 115-139.
- MONTAGNINI, F. y SANCHO, F. 1994b. Nutrient budgets of young plantations with native trees: strategies for sustained management. In: W. Bentley y M. Gowen. (eds.). Forest resources and wood-based biomass energy a rural development assets. Winrock International and Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi, India. pp. 213-233.
- PÉREZ, J., BORNEMSZA, E. y SOLLINS, P. 1993. Identificación de especies forestales acumuladoras de Al en una plantación forestal experimental, ubicada en Sarapiquí, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 17(2): 99-104.
- POWELL, L. C. 1984. Field inoculation with VA mycorrhizal fungi. In: C. L. Powell y D. J. Bagyaraj (eds.). VA Mycorrhiza. CRC. Press, Florida, USA. pp. 205-222.
- VÁSQUEZ, W. y UGALDE, L. A. 1994. Informe final; Convenio de Cooperación Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO)/Proyecto MADELEÑA 3. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

## ESTABLECIMIENTO DE CULTIVO EN CALLEJONES EN UN ULTISOL ÁCIDO

Alexis Samudio<sup>✓</sup>\*  
Noé Aguilar\*\*  
Felicita González\*\*\*

### RESUMEN

En mayo de 1993 se estableció un ensayo agroforestal de cultivo en callejones (alley cropping), en un suelo muy ácido (pH 4.8), clasificado como tropohumult. La saturación de ácidos era de 59% y presentaba baja fertilidad. Los tratamientos consistían en parcelas con y sin hileras de *Gliricidia sepium* (Jacq) Walp, y cultivos intercalados de maíz (*Zea mays*. L), frijol (*Vigna sinnensis*. L) en relevo y yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Las hileras de *Gliricidia* se establecieron a partir de estacas de 1.0 m de largo y entre 5 y 10 cm. de diámetro, sembradas directamente al suelo, obteniéndose un porcentaje de prendimiento superior al 80%. El primer año sólo se estableció el cultivo arbóreo y en el segundo año se intercalaron los cultivos anuales, previa poda de la *Gliricidia sepium*. Se aplicó fertilizante fosfórico a razón de 20 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 46 kg/ha de nitrógeno al maíz 10 dds; a la yuca sólo se le aplicaron 10 g de 12-24-12, cinco meses después de la siembra. Se cosechó un ciclo de maíz, frijol y yuca; obteniéndose un rendimiento promedio de 684, 136 y 16713 kg/ha respectivamente.

### INTRODUCCIÓN

Las áreas de suelos marginales, con restricciones de fertilidad, cultivadas en Panamá generalmente por agricultores de bajos ingresos; representan un alto porcentaje. En estudio del catastro de tierras del país, realizado en la vertiente pacífica y el corredor Panamá-Colón, se encontró que el 60% del área estudiada presentó problemas de fertilidad y pendiente, para las actividades agropecuarias. (CATAPAN, 1970). En estos suelos se establece mayormente agricultura de roza o "tumba y quema", en donde se utilizan pocos insumos y no se dispone de tecnologías apropiadas para mantener su sustentabilidad.

---

\* M. Sc. Suelos Tropicales. Profesor Investigador. Departamento de Suelos y Aguas. F.C.A.

\*\* M. Sc. Manejo de Cuencas Hidrogáficas. Profesor Investigador. Departamento de Suelos y Aguas. F.C.A.

\*\*\* Ingeniera Agrónoma. Profesora Asistente. Departamento de Protección Vegetal. F.C.A.

La asociación de cultivos anuales con árboles, es una práctica antigua que, tiene sus orígenes con la agricultura y no se limita a las regiones tropicales húmedas. Posiblemente nace de la necesidad de algunos agricultores de maximizar el uso de los escasos recursos, no pudiendo eliminar todos los árboles, más que de la percepción de beneficios inmediatos. (Kaas y col. 1989).

En muchas partes de las regiones tropicales se ha demostrado las bondades de la asociación deliberada y simultánea de árboles fijadores de nitrógeno con cultivos anuales. En el sistema agroforestal denominado "Cultivo en Callejones" o Alley Cropping; los árboles son sembrados en hileras lo suficientemente anchas para introducir cultivos anuales entre ellas, las hileras de árboles son podadas periódicamente y la biomasa producida se esparce entre las hileras para su descomposición y mineralización, liberando nutrimentos para su porterior aprovechamiento por los cultivos intercalados.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

El potencial de la agroforestería para la producción de cultivos en las tierras bajas de los trópicos húmedos se ha incrementado, especialmente en tierras con mucha pendiente. La razón de esto es el rol que desempeñan los árboles en el mantenimiento de la fertilidad del suelo; al igual que, en la disminución de los procesos erosivos, (Ruíz, 1991). Los árboles debido a su sistema radicular profundo, pueden alcanzar nutrimentos en el subsuelo, donde no están disponibles para la mayoría de los cultivos anuales.

Ruíz, (1991); hace énfasis en el reciclaje de nutrimentos en este sistema, donde existen pequeñas pérdidas de nutrimentos, comparables con la alta productividad del bosque húmedo tropical en suelos poco fértiles. Jurión y Henry citados por Kass y col. (1989); sugieren la racionalización del asocio de cultivos y árboles como una forma de mejorar el sistema tradicional de corte y quema.

Kang, Wilson y Sipkens, citados por Kass y col. (1989); son los primeros autores en designar con el nombre de "alley cropping" a un sistema donde los cultivos anuales son producidos en espacios entre surcos o barbechos, de arbustos leñosos o árboles que son podados periódicamente para evitar sombra y proveer abono verde al cultivo.

Kass, (1987); encontró que las posibilidades de éxito de cultivo en callejones en Turrialba, Costa Rica, fue de un 52% en los tres primeros años. El sistema incluía combinaciones de maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) o yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con *Erytrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook o *Gliricidia sepium* (Jack) Walp.

Uno de los factores de gran importancia en la utilización de árboles leguminosos en los sistemas agroforestales es el aporte de nitrógeno que éstos pueden hacer al sistema; al igual que, otros nutrimentos que pueden ser traídos a la superficie por absorción y porterior reciclaje de los residuos en los callejones.



Kass y col. 1989, anotan que en seis años de estudios se produjo un promedio de 5 ton/ha/año de materia seca. También se determinó que los árboles fijaron o recircularon más de 1 ton/ha de nitrógeno durante seis años de experimentos; la cantidad de potasio reciclado fue superior a los 100 kg/ha/año y la cantidad de fósforo, aunque un poco menor, es suficiente para mantener la producción de los cultivos intercalados.

El árbol *Gliricidia sepium* (Jack) Walp; ha sido ampliamente estudiado por diversos autores (Kass y col. 1989, Kang 1981, Araya 1986, Salazar 1983), es de la familia Leguminosae, subfamilia Papilionidae; ecológicamente se puede encontrar en regiones que tienen un amplio rango de precipitación (700 - 4000 mm) y con una marcada estación seca (cinco o seis meses), alcanza una altura de 12 m y un diámetro basal de 50 cm en árboles aislados (Salazar, 1983). Este árbol es considerado de uso múltiple ya que puede utilizarse para cercas vivas, leña, forraje y como madera.

Araya, 1986 utilizó *Gliricidia* asociada en callejones con maíz y frijol en relevo, al analizar el efecto de la cobertura sobre el rendimiento de los dos cultivos encontró un efecto positivo cuando ésta procedía de *Gliricidia*, también anotó que había diferencia cuando las parcelas no incluían el árbol dentro de la parcela, esto se atribuyó a la competencia que ejercía el árbol con los cultivos anuales; estos resultados fueron igualmente indicados por Kass y col. (1989).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental pertenece a la zona de vida bosque húmedo tropical basal, la precipitación media anual es de 2850 mm y la temperatura promedio es de 26.5 °C.

En mayo de 1993 se estableció el ensayo en un suelo del orden Ultisol, gran grupo tropohumult, de pH 4.8 (muy ácido), textura arcillosa (42% de arcilla), 0.5 cmol (+)/L de Al (medio), 1.8% de materia orgánica (bajo), 2 ppm de P (bajo). La saturación de acidez es de 59%, mientras que la saturación de bases fue del 41%. Los micronutrientes todos registraron valores bajos. El sitio anteriormente estaba bajo vegetación arbustiva, chumico (*Curatela americana*), y pasto nativo, faragua (*Hiparrhenia rufa*). El árbol escogido para el experimento fue *Gliricidia sepium* (bala, madero negro, mata ratón), por su adaptabilidad a las condiciones ecológicas; se obtuvieron estacas de árboles cercanos al ensayo cuya función era de cerca viva.

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, la unidad experimental estaba representada por una parcela de 10 metros de largo por 8 metros de ancho (80 m<sup>2</sup>), los tratamientos se describen a continuación:

1. Testigo sin *Gliricidia sepium* con maíz/maíz (*Zea mays* L.).
2. *Gliricidia sepium* con maíz/maíz.

3. *Gliricidia sepium* con maíz/frijol en relevo (*Vigna sinensis* L.).

4. *Gliricidia sepium* con yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

En la primera etapa del experimento (dos años), el objetivo primordial fue el establecimiento y estabilización de la *Gliricidia sepium*, debido al método utilizado para formar los callejones (reproducción asexual). Se sembraron estacas de un metro de largo y de diámetros que variaban entre 5 y 10 cm; se sembraron directamente al suelo en tres (3) hileras separadas cuatro (4) metros entre si, 0.50 metros entre estacas y 30 cm de profundidad; lo que, nos indica una densidad de 7500 estacas/ha. Se dejó una cantidad suficiente de estacas de reemplazo en un sitio sombreado. El porcentaje de prendimiento superó el 80%. En el primer año no se sembraron cultivos entre los callejones, la yuca se sembró el 30 de mayo de 1994 y el primer ciclo de maíz el 10 de junio de 1994. El 25 de junio de 1994 se realizó la primera poda de los árboles de *Gliricidia*, para evitar el sombreado a los cultivos intercalados, la biomasa de éstos se aplicó a los callejones entre los cultivos.

En los tratamientos con *Gliricidia* y maíz se sembraron ocho (8) hileras de maíz entre los callejones a un distanciamiento de 0.8 x 0.8 m y dejando dos plantas por golpe; obteniéndose una densidad de aproximadamente 30000 plantas/ha. Se utilizó maíz criollo, suministrado por campesinos del lugar. Al igual que el maíz en el frijol se utilizó una variedad considerada por los campesinos como nativa sembrándose a una densidad de 112000 plantas/ha. En lo referente a la yuca se plantaron dos hileras, distanciadas un metro entre ellas y 0.45 metros entre plantas, dando una densidad de 42 plantas por tratamiento (5500 plantas/ha).

Se realizó fertilización fosfórica al maíz a razón de 6.5 g por planta al momento de la siembra, a la yuca se le aplicaron 30 g por planta, en ambos casos se utilizó roca fosfórica (28% de  $P_2O_5$ ), Rufz (1991), indica que para la sostenibilidad de estos sistemas agroforestales en suelos Ultisoles y Oxisoles del trópico, se requiere la adición de fertilización principalmente en el caso del fósforo por ser altamente fijado. Se aplicó además 0.46 g/planta de nitrógeno (10 g de urea), al maíz a los 10 días después de siembra debido a deficiencia visible de este nutrimento. Cuando la yuca tenía cinco (5) meses de sembrada se le adicionó 10 g de abono completo (12-24-12) por planta.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se discutirán en base al objetivo planteado; el cual era, el establecimiento y estabilización de las parcelas de árboles *Gliricidia sepium*, lo que nos permitirá evaluaciones posteriores en ese sitio experimental. Los datos obtenidos de los ciclos de cultivo realizados nos servirán como base de los ensayos que están en fase de planeamiento.

### *Gliricidia sepium* (Bala)

Basados en la literatura revisada (Salazar, 1989), Kass y col. (1989), se obtuvo un alto porcentaje de prendimiento de las estacas de *Gliricidia sepium*, superior al 80%, aunque se presentaron algunos problemas (invasión de ganado vacuno y poda por arrieras (*Atta* sp.); por lo que, hubo que replantar el ensayo en tres ocasiones), lo que trajo como consecuencia el atraso en la ejecución del segundo año, donde se introducirían los cultivos anuales. Para este tipo de experimento consideramos que estacas entre 1.0 - 1.5 metros de longitud y 10 cm de diámetro son las ideales. se consideró además la fase de la luna al cortarlas (cuarto creciente), por recomendación de los campesinos del lugar, dejándolas una noche horizontalmente sobre el suelo y poniéndolas en posición vertical al día siguiente.

### *Zea mays* (Maíz criollo)

En el año 1994 el primer ciclo de maíz sel tratamiento testigo sin *Gliricidia sepium* obtuvo un promedio de 684 kg/ha de grano a 14% de humedad, en los dos tratamientos con *Gliricidia sepium* el promedio fue de 811 kg/ha, consideramos que el incremento en el rendimiento de estas parcelas está influenciado por el aporte adicional de nitrógeno proveniente de la biomasa producto de la poda inicial del árbol. Estos resultados son igualmente encontrados por Araya (1986); Kass y col. (1989), Escobar-Munera y col (1994), Rufz (1988). Los rendimientos estuvieron afectados en un alto porcentaje por daño general de aves (cerca del 20% de las plantas). El segundo ciclo de maíz se plantó, pero no se cosechó debido a la invasión de ganado vacuno al área de ensayo.

### *Vigna sinnensis* (Frijol pronto alivio)

Las plantas de frijol fueron afectadas por un ataque grave de arrieras (*Atta* sp.), causando una poda, en algunas parcelas, de más del 60% de las plantas emergidas, por este motivo consideramos que los rendimientos no son los representativos del sistema. El promedio de rendimiento estuvo por el orden de 136 kg/ha, sin fertilización. Cabe destacar que la densidad de siembra aunque más alta que la utilizada por Kass y col. (1989) y por Araya (1988), se ajusta bien al distanciamiento de los callejones. Los autores antes mencionados encontraron rendimientos promedios de frijol por el orden de 650 kg/ha y 343 kg/ha respectivamente en cultivo en callejones con *Gliricidia* pero con adición de fertilizantes.

### *Manihot esculenta* (Yuca)

El rendimiento promedio de yuca fue de 16713 kg/ha. En Costa Rica, Kass y col. (1989) en tres años consecutivos de cultivo en callejones obtuvo rendimientos promedios de 6385 kg/ha. Los resultados encontrados en nuestro ensayo concuerdan con los encontrados por Howeler (1984), en Colombia que consiguieron rendimientos entre 7 y 17 ton/ha bajo diferentes prácticas de conservación de suelos.

Consideramos que este cultivo es de gran importancia en suelos con ligeros problemas de compactación; ya que, después de varios ciclos de cultivos la capa superficial de suelos queda totalmente removida ayudando a la aireación y a la incorporación de la biomasa de *Gliricidia* y del propio árbol. La variedad utilizada es precoz y de porte bajo, motivo por el cual no se presentaron problemas de competencia con las hileras de *Gliricidia*.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El establecimiento de cultivo en callejones en suelos ácidos poco fértiles es una alternativa que debe ser considerada por la sostenibilidad que representa.
- El árbol de *Gliricidia sepium* se adapta al sistema de cultivo en callejones.
- Los cultivos a intercalar deben ser preferentemente cultivares criollos, que generalmente son menos exigentes en nutrimentos.
- El espaciamiento de cuatro metros entre las hileras de *Gliricidia* es adecuado para los cultivos ensayados.
- Debido a los resultados obtenidos se continuará con el experimento y se adicionarán tratamientos testigos para el cultivo de yuca y frijol respectivamente.
- Recomendamos establecer ensayos que incluyan otros árboles leguminosos como: *Erythrina poeppigiana* (poro) e *Inga edulis* (guabo).
- Aplicar una fuente fosfórica, preferiblemente de lenta liberación, en aquellos suelos donde el contenido de éste no compensa lo removido por el cultivo anual. En nuestro ensayo utilizamos el equivalente a 20 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como toca fosfórica.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARAYA, J. F. 1986. Efecto del madero negro *Gliricidia sepium* (Jacq Steud) como abono verde en un sistema de maíz (*Zea mays* L.)/Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relevo en Acosta-Puriscal, San José, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 107 p.
- CATAPAN. 1970. Final report. In: The catastro rural de tierras y aguas de Panamá. 3v.
- ESCOBAR-MUNERA; M. RAMÍREZ; C. KASS, D. 1994. Nitrógeno en un cultivo de Callejones de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y Madero negro (*Gliricidia sepium*) con frijol común (*Phaseolus vulgaris*). In: H. D. Thurston; M. Smith; G. Abadi y S. Kearl. Ed.

Tapado, los sistemas de siembra con cobertura. CATIE-CIIFAD. pp. 141-156.

KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays*) and *Leucaena leucocephala* Lam. in Southern Nigeria. *Plant and Soil* (Holanda) 63(2):165-179.

HOWELER, R. H. 1984. Prácticas de conservación de suelos para cultivos anuales. In: Sociedad Colombiana de Ciencias del Suelo. Memorias del primer seminario sobre manejo y conservación de suelos. Cali, Colombia. 14-16 de junio e 1984. Reinhart H. Howeler (Ed.). pp. 77-93.

KASS, D.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMÉNEZ, M.; SÁNCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (Alley cropping), en la Montaña, Turrialba, Costa Rica. CATIE. San José, Costa Rica. *El Chasqui* 7:19. pp. 5-24.

KASS, D.; BELLOWS, B.; ARAYA, J. F. 1994. Comparación entre los sistemas frijol tapado y cultivo en callejones. In; H.D. Thurston; M. Smith; G. Abadi y S. Kearl. Ed. Tapado, los sistemas de siembra con cobertura. CATIES-CIIFAD. pp. 19-28.

RUÍZ, P. 1991. Phosphorous fertilizer: An essential input to sustain agroforestry systems. PPI. *Better crops international*. 7:1. pp. 8-11.

SALAZAR, R. 1983. Lineamientos generales para el manejo y la evaluación de la producción de biomasa y leña en cercas nuevas de *Gliricidia sepium*. CATIE/ROCAP. Turrialbe, Costa Rica. 8 p.

SALAZAR, R. 1989. Propagation of *Gliricidia sepium*. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 9 p.

---

**DINÁMICA DE CRECIMIENTO EN TECA (*Tectona grandis* L.)  
BAJO FERTILIZACIÓN EN EL LIMÓN DE CHUPAMPA, HERRERA-PANAMÁ**

Víctor M. Montero\*

**RESUMEN**

Con base en los datos obtenidos de las parcelas establecidas por el Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple (CATIE - MADELEÑA) en Panamá, se realizaron una serie de análisis estadísticos para conocer la respuesta de la teca a la fertilización.

Dichos análisis se realizaron con las variables altura, diámetro, sobrevivencia incremento basal, para así conocer el rendimiento de la especie después de cinco años.

Los resultados obtenidos en el experimento muestra que teca responde a la fertilización, y la dosis con que se obtiene la mejor respuesta es la de 254.7 gramos por árbol.

Con la investigación se estiman los volúmenes a los 25 años utilizando, la fórmula:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = -0.00010254 + 39.17290105 (\text{dap})^3 + 0.00001151 (\text{h en m})$$

La relación beneficio-costos del planteamiento de esta plantación de teca al final del turno se logra comparando costos de implementación vs beneficios. Este fue de B/.84,713.33.

**INTRODUCCIÓN**

La Teca es originaria de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India. Hoy día se encuentra diseminada en el continente americano. La especie requiere de una estación seca bien definida (3 a 5 meses); con temperatura media anual entre los 22 - 28 °C; una precipitación media anual de 1250 - 2500 mm y altitudes de 0 - 1000 msnm (CATIE, 1986).

Su madera tiene gran valor por lo que está siendo plantada en grandes cantidades en Panamá.

No se cuenta con estudios que indiquen la respuesta de teca a la fertilización, por este motivo se considera importante realizar un estudio cuyo objetivo sea conocer la respuesta de la especie a la fertilización y cuál es la dosis a la que la especie responde satisfactoriamente.

---

\* Estudiante. Facultad de Agronomía - Chiriquí

El objetivo de este artículo es divulgar los resultados obtenidos en este estudio.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Datos del Sitio**

El experimento fue establecido por el Proyecto MADELEÑA (CATIE) en septiembre de 1988, en El Limón de Chupampa, Herrera (Panamá), a una altura de 100 msnm, donde la temperatura promedio es de 26.9 °C y la precipitación media es de 1,569 mm.

El suelo es tipo residual, expuesto a la erosión y de roca madre arenítica con un 10% de pedregosidad; pH de 6.1 y de fertilidad media (CATIE, 1988).

El sitio, antes de establecer el ensayo estuvo dedicado a cultivos de subsistencia y en la actualidad se estaban utilizando en potreros. La preparación del terreno para establecer el ensayo consistió en limpieza total, marcaje y ahoyado (CATIE, 1988).

### **Descripción del Estudio**

Para analizar la respuesta de teca a la fertilización se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro (4) tratamientos y tres (3) repeticiones. Se utilizaron parcelas de 16 árboles cada una con un espaciamiento de 3 x 3 metros. Los cuatro (4) tratamientos empleados fueron: a) testigo, b) 84.9 gr de NPK/árbol, c) 169.8 gr de NPK/árbol, d) 254.7 gr de NPK/árbol. La aplicación del fertilizante se realiza al primero y segundo año (CATIE, 1988).

### **Análisis de los Datos**

Para conocer la respuesta a la fertilización se hicieron mediciones de altura y diámetro anualmente durante cinco (5) años; estos datos se analizaron posteriormente mediante el programa de análisis estadístico (SAS). (Ver Cuadro N° 1)

Según la prueba de Duncan, se observa que la dosis de 254.7 gr mostró una diferencia significativa en relación a las otras dosis. Es importante anotar que las dosis de 84.9 gr y 169.8 gr no mostraron diferencias significativas entre si. (Ver Cuadro N° 1)

## **RESULTADOS**

### **Sobrevivencia**

Después de los cinco (5) años de estudio el porcentaje de mortalidad fue bajo, por lo que la sobrevivencia se puede considerar como buena.

La parcela testigo presentó un porcentaje de sobrevivencia de 89.5%; la dosis de 84.9 gramos por árbol un 81.2%; la dosis de 169.8 gramos por árbol un 75%; mientras que la dosis de 254.7

gramos por árbol presentó un porcentaje de 87.5%.

Como se puede observar, las distintas dosis no presentaron diferencias significativas entre sí, lo que indica que las dosis de fertilizante no influyeron en la sobrevivencia de la especie en la investigación. Con base a los datos, la baja mortalidad registrada no fue consecuencia de la fertilización, sino que están sujetas a variación, dentro de los rangos establecidos para el sitio, dado que otras variables de carácter obligatorio como las climatológicas influyen de manera directa en el comportamiento de la especie y en su conjunto en la plantación.

El análisis de las medias de las alturas indican que las dosis aplicadas presentan una diferencia significativa con respecto al testigo a los cinco (5) años de edad. La dosis de 254.7 gr/árbol es la que refleja la mejor respuesta, ya que muestra el mejor desarrollo de altura 53.16 dm, sobrepasando significativamente al testigo que alcanzó 31.81 dm, la dosis de 84.9 gr/árbol que alcanzó una altura de 39.67 dm y la dosis de 169.8 gr/árbol que alcanzó una altura de 39.68 dm. (Ver Cuadro N° 2 y Figura 1)

#### **Crecimiento en Diámetro**

El análisis de los promedios de los diámetros indican, que al igual que en la altura las dosis aplicadas presentan una diferencia significativa con respecto al testigo, a los cinco (5) años de edad. La dosis aplicada de 254.7 gr/árbol es la que refleja la mejor respuesta, ya que muestra el mayor desarrollo en diámetro con 54.86 mm, sobrepasando significativamente al testigo que alcanzó 29.88 mm, a la dosis de 84.9 gr/árbol que alcanzó un diámetro de 39.61 mm y la de 169.8 gr/árbol que alcanzó un diámetro de 38.15 mm. (Ver Cuadro N° 2 y Figura 2)

#### **Rendimiento en Área Basal**

El rendimiento del área basal y el volumen nos mostró con mayor claridad la diferencia entre una dosis. Con esto la dosis de 254.7 gr/árbol tuvo un área basal de 2.6664 m<sup>2</sup>/ha y un volumen de 7.777 m<sup>3</sup>/ha, la dosis de 169.8 gr/árbol obtuvo un área basal de 1.2221 m<sup>2</sup>/ha y un volumen de 2.666 m<sup>3</sup>/ha, la dosis de 84.9 gr/árbol tuvo un área basal de 1.3332 m<sup>2</sup>/ha, un volumen de 2.888 m<sup>3</sup>/ha y la parcela testigo tuvo un área basal de 0.7777 m<sup>2</sup>/ha y un volumen de 0.0012 m<sup>3</sup>/ha.

Esto nos presenta a la dosis de 254.7 gr/árbol como la que produce un mayor rendimiento en área basal y volumen. (Ver Cuadro N° 3) Los resultados indican que la dosis de 254.7 gr/árbol, afectan positivamente el incremento de los árboles, reflejados en dos parámetros cuantitativos como lo son el área basal y el volumen.

#### **Análisis de IMA e ICA**

En el análisis de ICA, incremento corriente anual, se observa que la dosis de 254.7 gr mostró la mayor tasa de desarrollo en el tiempo, en comparación con las otras dosis. (Ver Cuadro N° 4 y Figura 3)

En cuanto a el IMA, el incremento medio anual demostró que durante el período de observación



(5 años) la dosis de 254.7 gr observó el mayor incremento volumétrico, en comparación a las otras parcelas en estudio. (Ver Cuadro N° 4 y Figura 4)

## CONCLUSIONES

Como lo demuestran los resultados a los cinco (5) años de establecido el ensayo, la mejor respuesta a la fertilización se obtuvo con la dosis de 254.7 gr/árbol. No se presentaron diferencias significativas entre las dosis de 84.9 gr/árbol y 169.8 gr/árbol.

La fertilización es una actividad rentable en plantaciones forestales incluyendo la teca, ya que incrementa su producción sin incrementar los costos significativamente.

Se elaboró una table de los posibles volúmenes de teca a 25 años bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona en estudio y utilizando la fertilización de 254.7 gramos por árbol, de abono NPK 12-24-12, como se muestra en el Cuadro N° 5.

Como complemento de este estudio, se deben realizar ensayos similares en otros sitios utilizando dosis que estén en el rango entre 169.8 - 254.7 gr/árbol de fertilizantes para conocer si existen resultados similares de respuesta de desarrollo de teca, referida a otros lugares con condiciones edafoclimáticas diferentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1986. Silvicultura de Especies Promisorias para Producción de Leña en América Central. Turrialba, Costa Rica sp.
- . 1988. Descripción del Estudio de Fertilidad en *Tectona grandis* L. Proyecto Cultivo de Árboles de Uso Múltiple. MADELEÑA, Panamá. 1-2 págs.
- BRISCOE, B. 1990. Manual de Ensayos de Campo con Árboles de Usos Múltiples. Manual 3. 64-67 págs.

**CUADRO N° 1**

**Prueba de Duncan de comparación de medias con respecto a la altura y diámetro, a los cinco años en *Tectona grandis* L. Herrera, Panamá 1995**

VALORES MEDIOS	COMPARACIÓN	TRATAMIENTOS
<b>Altura:</b> 53.163 39.671 39.079 31.812	A  B B  C	d 254.7 gr (NPK/árbol) b 84.9 gr (NPK/árbol) c 169.8 gr (NPK/árbol) a Testigo
<b>Diámetro:</b> 54.862 39.013 38.154 29.883	A  B B  C	d 254.7 gr (NPK/árbol) b 169.8 gr (NPK/árbol) c 84.9 gr (NPK/árbol) a Testigo

Fuente: Análisis Estadístico.

**CUADRO N° 2**

**Respuesta a dosis de fertilizante (NPK). Crecimiento altura y diámetro a los cinco años en *Tectona grandis*. El Limón, Herrera, Panamá 1995**

<b>TRATAMIENTO (dosis/árbol)</b>	<b>ALTURA MEDIA (dm)</b>	<b>DIÁMETRO MEDIO (mm)</b>
Testigo	31.81	29.88
84.9 gr	39.67	39.61
169.8 gr	39.68	38.15
254.7 gr	53.16	54.86

Fuente: Datos de campo.

**CUADRO N° 3**

**Rendimiento en área basal/dosis de fertilizante (NPK) y volumen a los cinco años de edad en *Tectona grandis* Herrera, Panamá**

<b>DOSIS (gr)</b>	<b>AB (m<sup>2</sup>/ha)</b>	<b>V (m<sup>3</sup>/ha)</b>
254.7 gr	2.6664	7.777
84.9 gr	1.3332	2.888
169.8 gr	1.2221	2.666
Testigo	0.7777	1.333

Fuente: AB = área basal (m<sup>2</sup>) (0.8 diámetro)  
V = volumen (m<sup>3</sup>) (V = F \* AB \* L) según Briscoe, 1990.

**CUADRO N° 4**  
**Incremento Corriente Anual (ICA)**

VOLUMEN EN m <sup>3</sup> /ha					
	1989	1990	1991	1992	1993
Testigo	0	0.1111	0.8888	1.6665	13.7764
84.9 gr	0	0.4444	2.6664	4.7773	7.8881
169.8 gr	0	0.4444	3.1108	4.5551	6.5549
254.7 gr	0	1.1110	7.4437	11.7766	21.4423

**Incremento Medio Anual (IMA)**

VOLUMEN EN m <sup>3</sup> /ha					
	1989	1990	1991	1992	1993
Testigo	0	0.0555	0.2222	0.3333	2.6664
84.9 gr	0	0.2222	0.8888	1.1110	1.5554
169.8 gr	0	0.2222	0.9999	1.1110	1.2221
254.7 gr	0	0.5555	2.4442	2.8886	4.2218

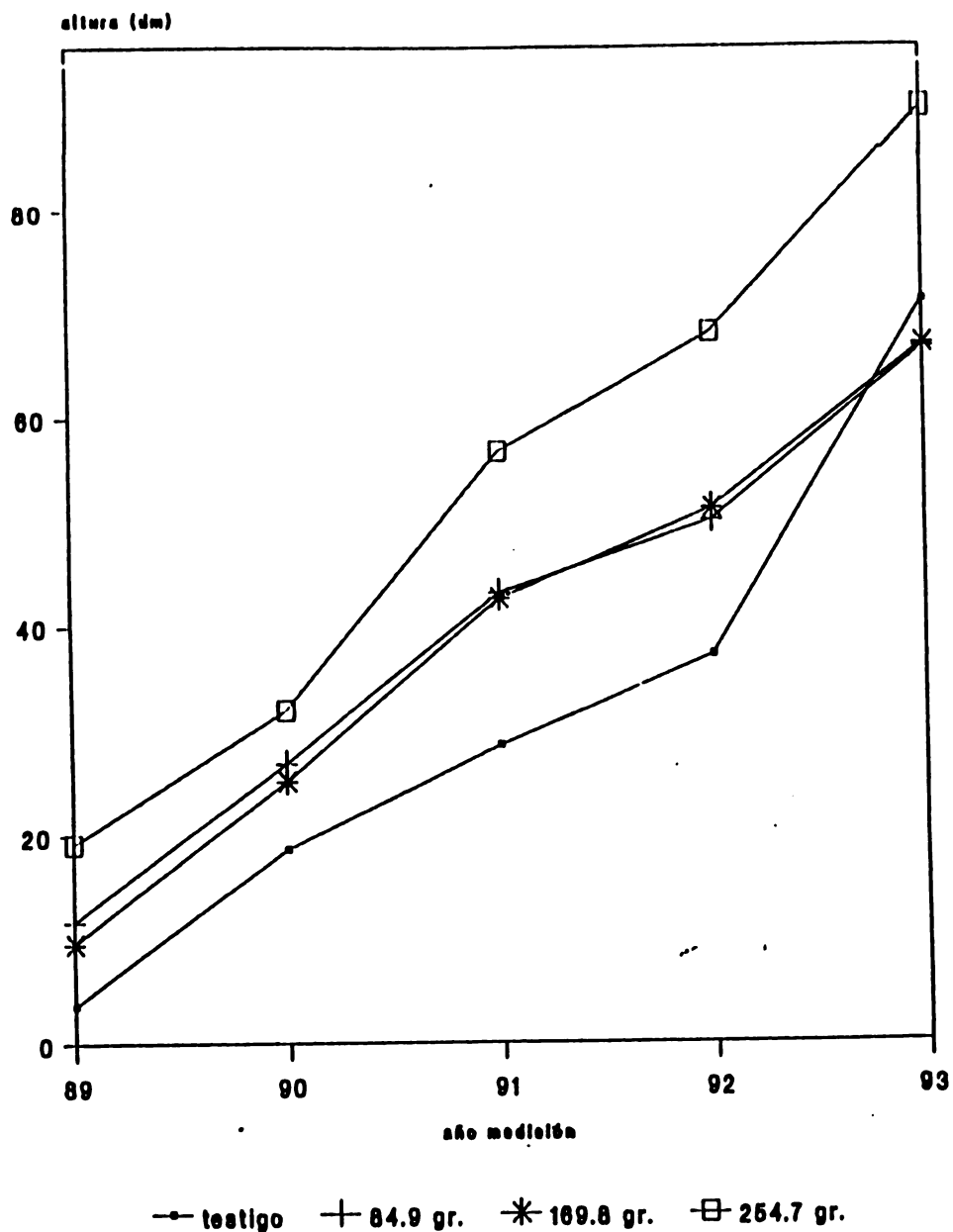
**CUADRO N° 5**

**Estimación de Volumen de Teca con Corteza a los 25 Años, para una Plantación en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. 1995.**

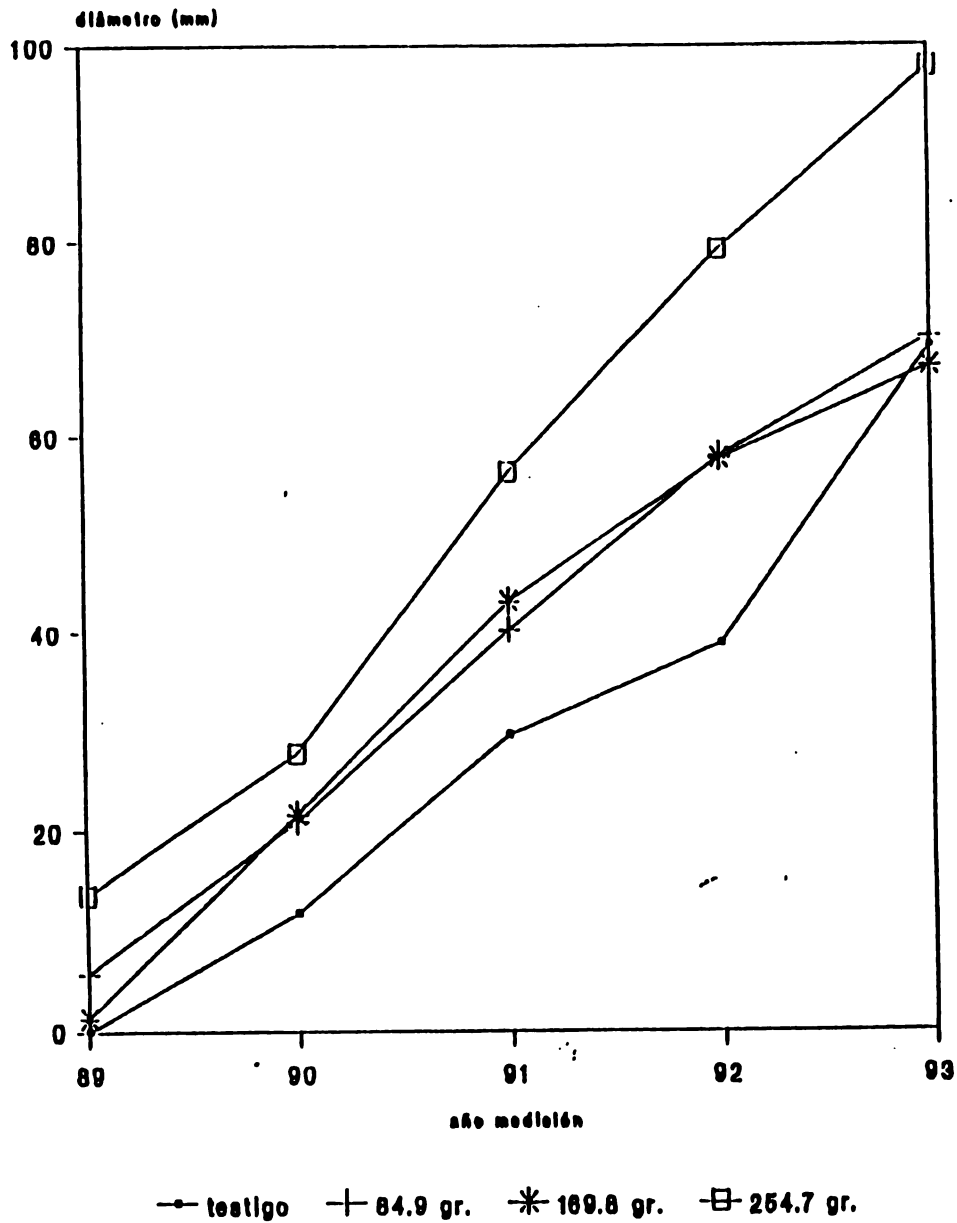
<b>AÑO</b>	<b>DAP (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>VOL/ÁRBOL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>VOL/HA (m<sup>3</sup>)</b>
1				
2				
3				
4				
5	0.05	5.32	0.0030	3.3330
6	0.06	6.32	0.0080	5.7760
7	0.07	7.32	0.0134	9.6748
8	0.08	8.32	0.0200	14.4400
9	0.09	9.32	0.0285	20.5770
10	0.10	10.32	0.0391	28.2302
11	0.12	11.32	0.0677	48.8794
12	0.13	13.32	0.0861	43.9971
13	0.14	13.32	0.1075	54.9325
14	0.15	14.32	0.1322	67.5542
15	0.16	15.32	0.1605	82.0155
16	0.17	16.32	0.1925	98.3675
17	0.18	17.32	0.2285	116.7635
18	0.19	18.32	0.2687	83.5657
19	0.20	19.32	0.3135	97.4985
20	0.21	20.32	0.3629	112.8619
21	0.23	21.32	0.4767	148.2537
22	0.24	22.32	0.5416	168.4376
23	0.25	23.32	0.6122	190.3942
24	0.26	24.32	0.6886	214.1546
25	0.27	25.32	0.7712	239.8432

Fuente: Estribí C. Comunicación Personal. INRENARE. David. 1995.  

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = -0.00010254 + 39.17290105 (\text{dap})^3 + 0.00001151 (\text{h en m})$$

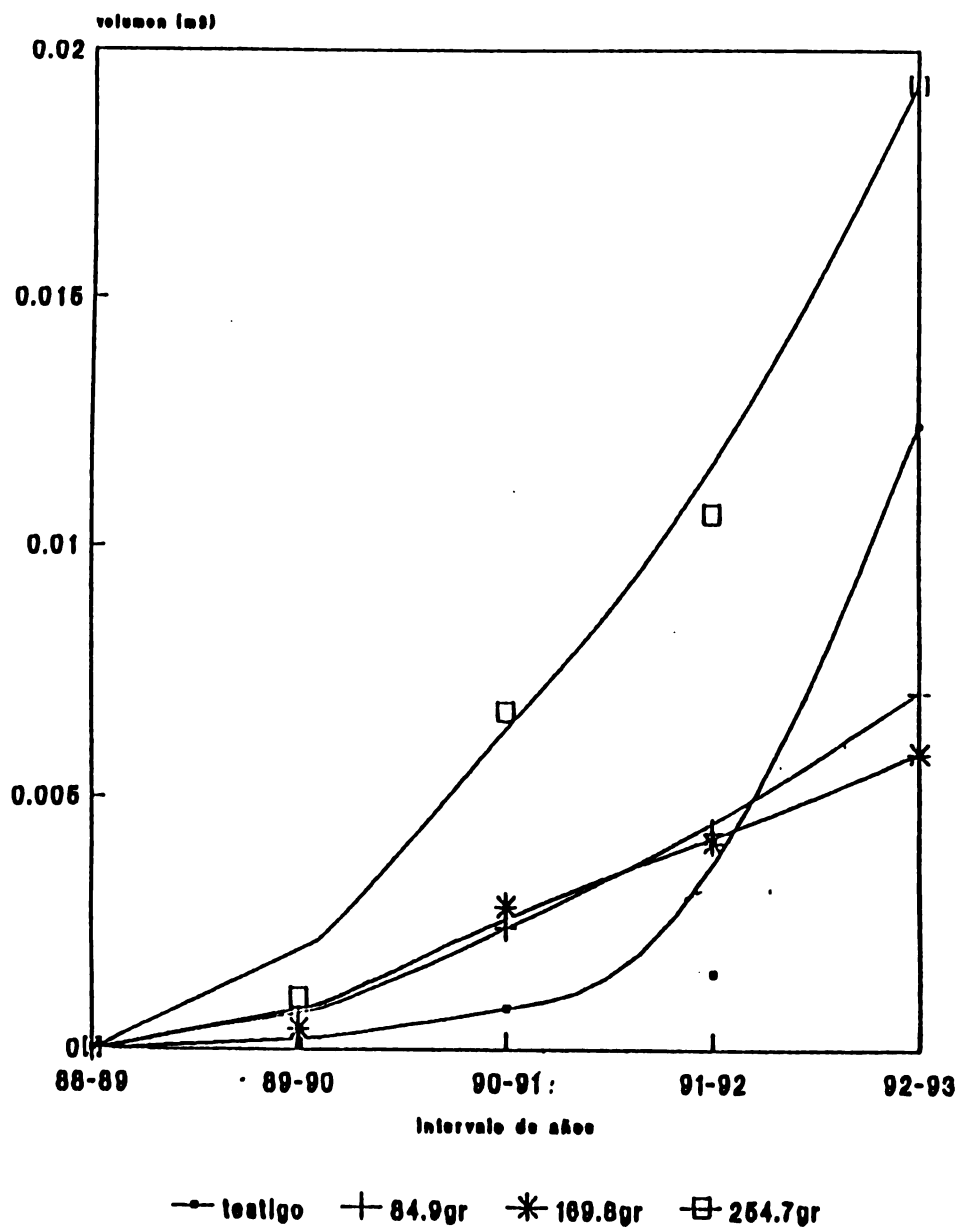


**FIGURA 1**  
**DESARROLLO DE LA ALTURA TOTAL**  
*Tectona grandis*. El Limón, Herrera  
Panamá. (1989-1993)

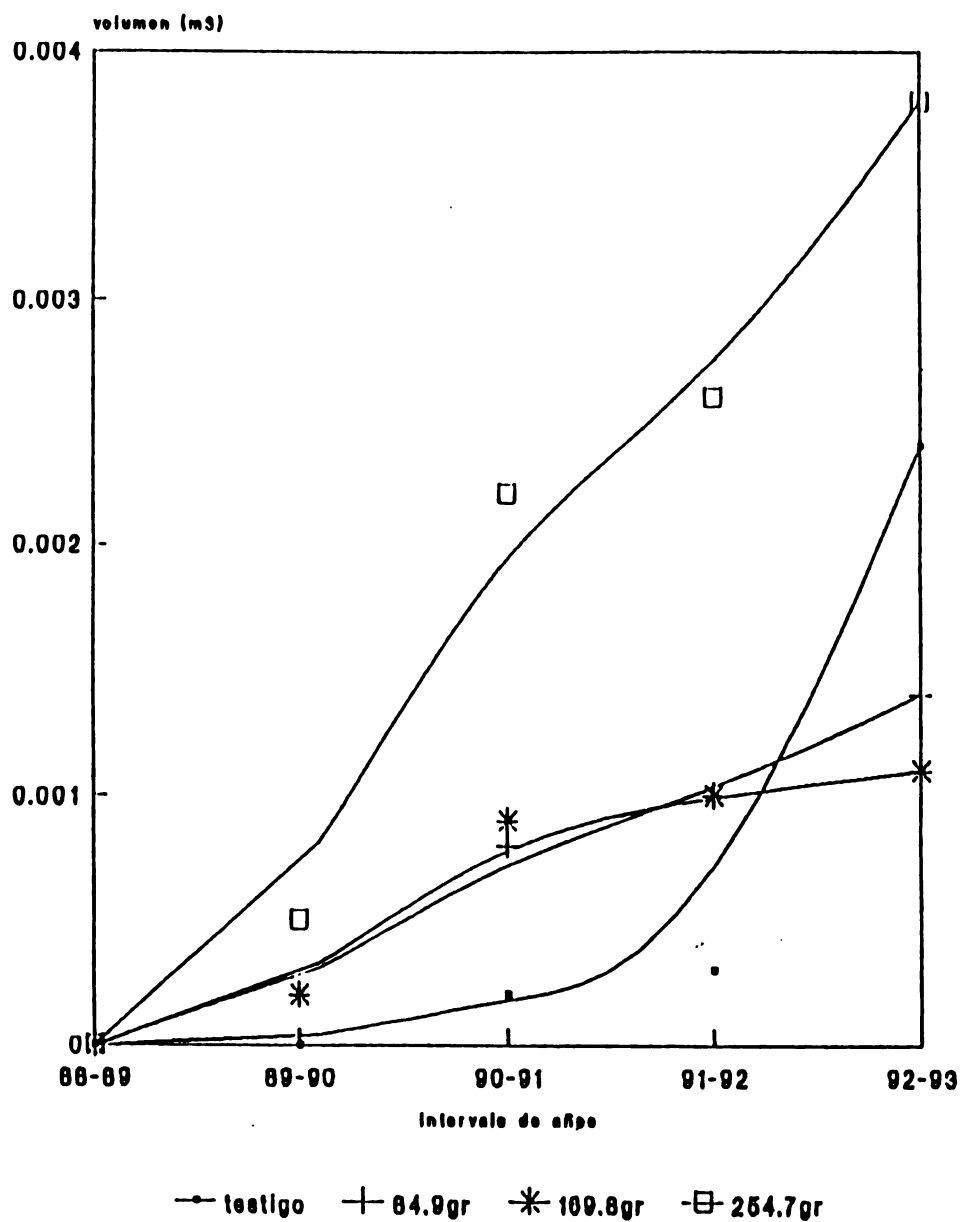


**FIGURA 2**  
**DESARROLLO DE DIÁMETRO TOTAL**  
*Tectona grandis*. El Limón, Herrera  
Panamá. (1989-1993)





**FIGURA 3**  
**ICA DE VOLUMEN**  
*Tectona grandis*. El Limón, Herrera  
Panamá



**FIGURA 3**  
**IMA DE VOLUMEN**  
*Tectona grandis*. El Limón, Herrera  
Panamá

---

## TÉCNICAS DE MUESTREO DE SUELO PARA EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD, EN EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES

Arturo Cerezo C.\*

### INTRODUCCIÓN

La reforestación no ha sido una actividad tradicional en nuestro país, sin embargo, el establecimiento de plantaciones forestales y el aprovechamiento de las mismas ha estado tomando auge en los últimos años. Diversos productores que tradicionalmente se han dedicado a la ganadería y a la agricultura, deciden incursionar en la reforestación, debido, en algunos casos al agotamiento de las tierras, otros motivados por el comportamiento de ciertas especies forestales de rápido crecimiento y al mismo tiempo de gran valor comercial. Recientemente los nuevos productores están motivados por la Ley 24, sobre incentivos a la reforestación, se ha llegado inclusive a realizar el primer seminario sobre incentivos a la reforestación sostenible en Panamá (NATURA-REDCA, 1993). Adicional, vemos la participación cada vez más acentuada de empresarios invirtiendo en la actividad forestal, con los gastos deducibles o exonerados del pago de impuesto sobre la renta (LEY 24, 1992; DECRETO EJECUTIVO 89, 1992).

Uno de los requisitos para acogerse a los beneficios tributarios a que se refiere la ley 24, es presentar un proyecto forestal o plan de reforestación y manejo. Dentro de este proyecto forestal, es indispensable realizar un análisis del suelo, que determine algunas características del sitio a utilizar o reforestar. En ese sentido, debemos recordar que tanto la agricultura como la actividad forestal moderna exigen un uso adecuado del suelo, por lo que es necesario identificar los factores limitantes y favorables para su utilización, lo que permitirá el usufructo de este recurso de manera racional y sostenida.

Sin embargo, consideramos que no se ha prestado la debida atención a los aspectos relacionados al suelo. En la práctica se han realizado simplificaciones en el muestreo del suelo, la más común consiste en la reducción de puntos de muestreo y en el número de nuestras simples por muestras compuestas (CEREZO, 1991).

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es llamar la atención sobre la importancia en la planificación, muestreo y análisis de suelo; de tal forma que se pueda padronizar el muestreo de suelo, para que la información que se genere en la utilización e interpretación de los resultados, pueda ser comparada de sitio para sitio, y que la misma sea de utilidad a los que se dedican a la actividad forestal.

---

\* Ingeniero Agrónomo M. Sc.  
Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.

---

## PLANIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL SUELO

### Uso de Mapas

El primer paso para la planificación del análisis del suelo es contar con un **mapa topográfico** o un croquis del terreno, para realizar un recorrido minucioso por toda el área, para determinar e identificar las parcelas que serán muestreadas. El siguiente paso es preparar un cronograma de muestreo y análisis para los diversos años, considerando el muestreo de una parte de la propiedad en cada año, de acuerdo a los programas de siembra y habilitación de nuevas áreas.

Se deben guardar en una carpeta todas las informaciones sobre el mapa, plano o croquis de la propiedad, señalando la identificación de las diversas parcelas seleccionadas, informaciones sobre usos, abonamientos, prácticas utilizadas y resultados obtenidos de producción. Estas informaciones permitirán acompañar la evolución de la fertilidad y de la productividad de las diferentes parcelas.

### Importancia del Muestreo del Suelo

Debido a la heterogeneidad natural del suelo, el muestreo no es una práctica simple. El muestreo debe ser rigurosamente ejecutado, siguiendo instrucciones basadas en consideraciones de orden científico.

En la mayoría de los casos el muestreo del suelo representa la camada arable de áreas que pueden llegar hasta 10 hectáreas, lo que representa un volumen de suelo de 20 millones de  $\text{dm}^3$  de tierra, para una camada arable de 20 cm de profundidad, considerando el suelo con una masa específica global unitaria (densidad del suelo igual a uno). Esto significa que si fuesen enviados cerca de 400 gramos, aproximadamente una libra de tierra para el laboratorio (lo que generalmente se realiza), esta muestra representaría una parte en 50 millones de la camada arable. Si se considera que en diversas extracciones son empleados apenas 10  $\text{cm}^3$  de tierra, esto representará una parte en dos (2) billones de partes de la camada arable o sea, el análisis de esta pequeña fracción de suelo, debe reflejar la fertilidad de un volumen dos (2) billones de veces mayor (RAIJ, 1981).

Por lo tanto, el muestreo es una etapa crítica de todo proceso de análisis. Una muestra mal colectada no revela, por su aspecto, si es o no representativa de la parcela muestreada. Por otro lado, la toma de una muestra simple es insuficiente para la representatividad de una parcela. En la práctica se han realizado simplificaciones en el muestreo, la más común consiste en la reducción de puntos de muestreo o sea en el número de muestras simples, por muestra compuesta.

Como ejemplo de esta realidad, en nuestro medio se toma la muestra del suelo en un solo punto a una profundidad por lo general inferior a la recomendada (que es de 20 cm), o se toman dos

puntos como máximo y se "mandan" al laboratorio como muestras diferentes. Se trata de una actitud que puede llevar a conclusiones equivocadas sobre la fertilidad de una parcela muestreada, más aún, cuando el suelo presenta una gran heterogeneidad (CEREZO, 1991).

El área o propiedad a ser muestreada, debe ser estratificada en parcelas, para esto la importancia del mapa o croquis, estas deben ser homogéneas en aspectos de vegetación, suelo, productividad, tratamientos pasados entre otros. Áreas que difieren en apariencia, topografía, drenaje, tipo de suelo, deben ser muestreadas separadamente. Áreas o manchones de aspecto diferente no se deben muestrear, o si deseado, se deben muestrear separadamente. Se debe asignar un número o nombre a cada parcela o campo que será muestreado, para facilitar la identificación e interpretación de los resultados de laboratorio.

### Como Obtener la Muestra del Suelo

Con auxilio de una pala o machete se limpia la superficie del terreno eliminando las plantas, restos vegetales, sin retirar tierra, esto es importante debido a que existe una concentración de nutrientes en los primeros centímetros del suelo (CEREZO, 1987; SANTANA, 1986; UFV, 1984; ZANGRANDE, 1985). Luego se abre un hueco con una pala dejando una pared recta, para retirar una **tajada** de suelo de aproximadamente tres (3) centímetros de grosor. con un machete o cuchillo, se retiran con cuidado los lados de la tajada y se conserva un rectángulo de aproximadamente cinco (5) centímetros centrales y a la profundidad deseada o recomendada, en este caso 20 cm para los forestales que serán posteriormente instalados.

Esto representa una **muestra simple**, esta operación se repite en zig-zag en diferentes puntos de la parcela por unas 15 - 30 veces, para formar entonces una **muestra compuesta** de aproximadamente una libra, que se coloca luego en una bolsa plástica o de cartón para enviarla al laboratorio cuando esté seca, de preferencia.

La muestra debe ser acompañada por un **formulario** donde se encuentre el nombre y dirección de la persona, cultivos a realizar, cultivo anterior, abonamiento anterior, topografía, drenaje, etc; más el número que identifica la parcela o campo muestreado, para poder comparar posteriormente los resultados analíticos de cada parcela.

Por otro lado, es conveniente conocer las características del suelo en profundidad, a fin de poder determinar algunas limitaciones que puedan afectar la productividad, tales como textura excesivamente arenosa o arcillosa, elevada acidez, presencia de alguna capa endurecida, etc; esto necesita ser realizado una sola vez. Se trata de un muestreo bastante trabajoso y que puede ser realizado con barreno, es necesario tener mucho cuidado para evitar la contaminación con el suelo de la superficie. RAIJ (1981), recomienda retirar muestras entre 60 y 80 cm.

Entre tanto, según BARRÓS et al (1990), el muestreo del suelo es complicado, principalmente en áreas cubiertas con vegetación, en razón de la heterogeneidad y de las variaciones en el

volumen de raíces, y por la concentración de elementos en las capas superficiales del suelo por el proceso de reciclaje. En razón de esto se recomiendan dos procedimientos de muestreo del suelo para fines forestales. En el caso en que el área a ser plantada esté cubierta por vegetación rastrera, el muestreo debe ser realizado en las capas de 0-20 y 20-40 cm de profundidad. Entre tanto, si el área está cubierta por vegetación cerrada, las muestras deben ser colectadas en las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40 cm.

Por otro lado, diversos autores (CEREZO, 1987; SANTANA, 1986; UFV, 1984) han realizado un muestreo bien detallado para la obtención de los materiales del suelo para los análisis químicos. ZANGRANDE (1985), en la caracterización e interpretación del suelo para su uso, realizó el muestreo de 10 capas de 1 en 1 cm, tres de 2 en 2 cm, tres de 3 en 3 cm, una de 5 cm, dos de 10 en 10 cm, tres de 20 en 20 cm, totalizando 22 capas.

### **Etapas de un Programa de Análisis del Suelo**

Para que las recomendaciones de abonamientos con base en los análisis del suelo sean eficaces, no basta con la existencia de laboratorios para realizar los análisis. Es necesario que una serie de etapas sean cumplidas, que el sistema encuentre soporte en una amplia experimentación regional. Los temas que se deben considerar son (RAIJ, 1981):

1. Muestreo correcto,
2. Ensayos de abonamiento,
3. Selección de métodos eficientes de análisis,
4. Laboratorios adecuados,
5. Correlaciones entre cantidades en los suelos y respuestas de las plantas a los nutrientes aplicados,
6. Establecimiento de clases de concentraciones de nutrientes,
7. Establecimiento de niveles de abonamiento.

Es evidente que la mayoría de estas etapas tienen que ver directamente con los que se dedican a los trabajos de investigación. Sin embargo, es importante que se tenga una idea general del conjunto de actividades relacionadas con los análisis del suelo y de como se llega, partiendo de éste (el análisis), a las recomendaciones de abonamiento.

De los métodos adoptados para evaluar la necesidad de abonamiento, el análisis químico del suelo es el que muestra mayor potencial de uso en áreas de implantación forestal. El método ha sido bastante eficiente para ciertos nutrientes como el fósforo y bastante utilizado en países como Australia, Nueva Zelanda, Sur de Estados Unidos. Sin embargo, para otros nutrientes, el suceso del método ha sido menor. Algunas de las dificultades encontradas en el uso del análisis del suelo son: a. falta de informaciones básicas en cuanto a la exigencia de nutrientes de las principales especies forestales; b. falta de datos adecuados de correlación para la interpretación de los resultados en términos de respuesta a fertilizantes; c. dificultades de obtener muestras representativas de la zona de exploración radicular de los árboles; d. incertidumbre en cuanto a la forma del nutriente a extraer (BARROS et al, 1990).

Nuestro país no escapa a esta realidad, y las cosas se complican más aún cuando se observan

recomendaciones de abonamientos, en la que sus autores parecen desconocer las bases técnicas de los ingenieros Espinosa y Ocaña, en la década del 50, que sustentaron la recomendación de utilizar el abono de fórmula completa 12-24-12 y 10-30-10, para el arroz en los suelos negros volcánicos de Chiriquí, empleado ahora para abonamiento de los variados cultivos - incluyendo los forestales, en todo el territorio nacional (ESPINOZA Y OCAÑA, 1991).

## EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Con el análisis del suelo, se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes en el suelo, también, las condiciones adversas que pueden perjudicar los cultivos tales como la acidez, salinidad o toxicidad de algunos elementos como por ejemplo el aluminio. La mejor forma de evaluar la fertilidad de un suelo consiste en la conducción de un experimento de abonamiento, perfectamente planificado para dar las respuestas deseadas (RAIJ, 1981).

En Panamá, el estudio de Catastro Rural de Tierras y Aguas, publicado en 1970 por la Comisión de Reforma Agraria, identificó un 60% de los suelos siendo ácidos y de baja fertilidad (SÁNCHEZ Y NAME, 1993), por lo que las restricciones químicas pueden limitar su productividad a menos que sean manejados adecuadamente. Esta situación se agrava cuando la comisión multidisciplinaria sobre deforestación señala que en 1987, el 27% de la superficie total del país ya eran tierras degradadas, o sea dos (2) millones de hectáreas (PANAMÁ, 1993).

Al intentar definir o conceptualizar la fertilidad del suelo, la tendencia normal es la utilización del término productividad o producción como un índice.

Sin embargo, la producción es una función del suelo, la planta, el clima y el manejo o prácticas culturales aplicadas. Por lo tanto, la fertilidad es apenas un componente del factor suelo en la ecuación de producción; y a pesar de presentar aisladamente efectos acentuados sobre la producción, los retornos económicos de la adecuada utilización del suelo, sólo podrán ser óptimos cuando los demás componentes limitantes de la producción sean apropiados.

Existe una fertilidad natural en todos los suelos que no han sido utilizados por el hombre. Sin embargo, con el manejo y utilización del suelo se altera la "fertilidad natural", dando como resultado el establecimiento de una fertilidad diferente a la anterior o sea una "fertilidad actual". Al estudiar el suelo, se busca realizar los abonamientos y correcciones de la fertilidad natural o actual, con la finalidad de llegar a la "fertilidad potencial" del suelo.

### Experimentos de Fertilización con Plantas

Es la referencia para evaluar la fertilidad de los suelos. Son fundamentales para ensayar fuentes de nutrientes y niveles de aplicación.

Los experimentos pueden ser realizados en invernadero (vasos) o en parcelas experimentales en condiciones de campo. En el primer caso (invernadero), es posible abordar un mayor número de variables como una primera etapa, para realizar ensayos de campo posteriores con los conocimientos adquiridos. Los ensayos de campo proveen valores de producción que tienen relación directa con las actividades prácticas, tanto agrícolas como forestales.

### **Ensayos Tipo Exploratorios**

El objetivo es tentar identificar una posibilidad de deficiencia de nutrientes. Se experimenta una mezcla completa de nutrientes y varios tratamientos en los cuales un nutriente de cada vez es omitido.

Este tipo de ensayos es muy útil para detectar cuál es el nutriente deficiente en el suelo. Es necesario que los nutrientes no testados sean abastecidos en cantidades adecuadas.

### **Curvas de Respuestas**

Los nutrientes detectados como deficientes son ensayados obteniéndose curvas de respuestas de cada nutriente en presencia de dosis fijas de los otros nutrientes. Ensayos de este tipo con muchos niveles en curvas de respuestas, son adecuados para muchas situaciones en que no son esperadas interacciones entre nutrientes. Tienen la ventaja de ser simples.

### **Factoriales**

En caso de que interacciones entre los nutrientes sean esperadas, es más conveniente utilizar los ensayos factoriales. Ensayos de este tipo son utilizados para evaluar varios niveles de los nutrientes estudiados. Es conveniente considerar cuatro niveles de abonamiento o más por nutriente (de preferencia), y ajustar a los datos experimentales una ecuación matemática que permita obtener la producción en función de los nutrientes aplicados.

En el caso de la aplicación de cal es necesario evaluar el efecto de los tratamientos por más de un año. La cal puede no ser económica en el primer año o tal vez el retorno de la producción no de para cubrir los gastos de aplicación de cal. Además, los efectos se pueden manifestar con mayor intensidad en los años siguientes.



---

### BIBLIOGRAFÍA

- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. & NEVES, J. C. L. 1990. Fertilizacao do solo para o plantio de eucalipto. IN: BARROS, N. F. Relacao solo-eucalipto. Vicosa, Editora Folha de Vicosa. 330 p.
- CEREZO, C. A. 1987. Exportacao de nutrientes e produtividade de povoamentos de eucalipto no litoral norte do Espírito Santo. Vicosa. UFV, impr. Univ., 98 p. Tese (M.S.)
- ESPINOSA, E. & OCAÑA, B. 1991. Breve reseña sobre el abono 12-24-12 y el pasto Pangola en Panamá. El Panamá América. Domingo 26 de mayo.
- NATURA - REDCA. 1993. Primer seminario taller sobre incentivos para la reforestación sostenible en Panamá. Memorias. IN: CEREZO, C.A. y De CEREZO, N.M.N. 85 p.
- PANAMÁ. Ley 24 (23 de noviembre de 1992). Por la cual se establecen incentivos y reglamenta la actividad de reforestación en la República de Panamá.
- PANAMÁ. Decreto Ejecutivo N° 89 (de 8 de junio de 1993), por la cual se reglamenta la Ley N° 24 de 23 de noviembre de 1992.
- PANAMÁ. 1993. Informe de la Comisión Interinstitucional y Multidisciplinaria sobre la Deforestación. Resumen ejecutivo. 27 p.
- RAIJ, B.V. 1981. Avaliacao da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa. 142 p.
- SÁNCHEZ, D. R. & NAME, T. B. 1993. Opciones tecnológicas para suelos Ultisoles. Memorias Primer seminario taller sobre extensión forestal y agroforestal en Panamá. IN: CEREZO, C. A y De CEREZO, N. M. N. 109 p.
- SANTANA, J. A. DA S. 1986. Efeitos de propriedades dos solos na produtividades de duas especies de eucalipto na regio do Médio Río Doce-MG. UFV, Impr. Univ., 117 p. Tese (M.S.)
- VICOSA. 19984. Caracterizacao de solos e avaliacao dos principais sistemas de manejo dos tabuleiros costeiros do Baixo Río Doce e da regio norte do estado do Espírito Santo e sua interpretacao para uso agrícola. Vicosa. UFV, 153 p.
- ZANGRANDE, M. B. 1985. Caracterizacao e interpretacao para uso de un Prodólico Vermelho-Amerelo abruptico dos Platôs litorâneos do norte do Espírito Santo. Vicosa. UFV, Impr. Univ., 81 p. Tese (M.S.).

---

**RESPUESTA INICIAL DE *Tectona grandis* L.F. (TECA) A LA FERTILIZACIÓN  
CON ESTIÉRCOL, CENIZA, KCL Y NPK EN GUANACASTE, COSTA RICA**

Jaime Raigosa\*  
Luis Ugalde A.\*\*  
Alfredo Alvarado\*\*\*

**RESUMEN**

En 1994 se estableció un ensayo de fertilización en la finca San Bernardo del Viento, situada en el caserío de la Palma, en Colorado de Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

El objetivo de éste ensayo fue determinar si el crecimiento inicial de *Tectona grandis* (teca) se afecta con la adición de diferentes dosis y combinaciones de estiércol, ceniza, cloruro de potasio y NPK-10-30-10. En total se estudiaron 8 tratamientos de fertilización aplicado al fondo del hoyo en el momento de la plantación. El diseño del ensayo fue de bloques completos al azar con 3 replicaciones.

Siete meses después del establecimiento se midió la altura total de los árboles y se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos al nivel del 5%.

Los mejores tratamientos fueron en primer lugar 1.2 kg/árbol de ceniza más 100 gr/árbol de NPK-10-30-10 y en segundo lugar el tratamiento de 1.2 kg/árbol de estiércol con 1.2 kg/árbol de ceniza.

La supervivencia no mostró diferencias significativas al realizar la aplicación del fertilizante.

La combinación de ceniza con NPK, y la ceniza con estiércol mostraron los crecimientos más altos en altura total. A la vez, estos coinciden con las dosis más altas de ~~las combinaciones de producto orgánico y químico~~ total aplicado por árbol, 220, 320 y 240 gramos respectivamente. *fertilizante*

Se recomienda investigar más detalladamente el tratamiento con estiércol, ceniza y fertilizante, tanto las cantidades, como la posible respuesta a fertilizaciones posteriores en plantaciones de teca.

---

\* M.S., Forestal, Consultor Privado. San José, Costa Rica.

\*\* Ph.D. Manejo de Información Forestal, Proyecto MADELEÑA-3, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

\*\*\* Ph.. D. Especialista en Suelos. CIA, Universidad de Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

La teca es originaria de la India, Burna y Tailandia y es una de las especies más utilizadas para establecimiento de plantaciones en los trópicos americanos. Esto se debe a que es una de las especies forestales más valiosas que existen, especialmente por el alto valor de su madera, el rápido crecimiento inicial, su inmunidad natural a ataques de insectos y enfermedades, su buena producción de semillas, y su facilidad de manejo en viveros. Su buen porte y las excelentes propiedades de su madera, han hecho de ésta, una de las más importantes del mundo. La madera se caracteriza por su resistencia y poco peso, su durabilidad, su estabilidad dimensional, su trabajabilidad su resistencia a hongos y termitas.

Friday (1987), menciona que dos razas de teca han sido ampliamente distribuidas en el Caribe, una raza de Tenasserim de la parte baja de Burna, la cual fue introducida a Trinidad en 1913 y otra raza procedente de Sri-Lanka, la cual fue introducida a Panamá en 1926, y se cree, que de ahí se llevó a Costa Rica.

La adopción de tecnologías apropiadas y el uso de las mismas vía fertilización, ha sido una práctica que se ha venido introduciendo en la región de Abangares, Costa Rica con miras a incrementar la productividad de las plantaciones forestales utilizando insumos producidos *in situ* como el estiércol y la ceniza, con el objetivo de sustituir tecnologías químicas costosas y a desarrollar toda una cultura orgánica. Los resultados encontrados en el área muestran que es posible aumentar la producción de volumen comercial de las plantaciones forestales, mediante la fertilización.

Como una adopción de tecnología apropiada mediante el uso de fertilizantes orgánicos se planteó la presente investigación, cuyo objetivo fundamental fue medir la respuesta inicial de la teca a la fertilización orgánica, analizar el crecimiento en altura con fines de aumento de productividad y reducir costos vía competencia de malezas. El ensayo se ubicó en una plantación recién establecida de teca (un mes de edad), con pseudoestacas producidas de material seleccionado en el vivero del Centro Agrícola Cantonal de Hojanca, Guanacaste.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

El estudio se realizó en el caserío de la Palma, distrito de Colorado, cantón de Abangares, provincia de Guanacaste, a una altitud de 200 msnm. En general, el área presenta una precipitación promedio alrededor de 1600 mm y una temperatura promedio anual de 24 °C, con una estación seca bien definida que va de diciembre a abril y con un déficit hídrico de 4 - 5 meses.

## Suelos

Los suelos se clasifican como Vertisoles, que son suelos expansivos, que se caracterizan por tener una capa gruesa de 25 cm o más dentro de los 100 cm del perfil de suelo y que presentan resquebrajamiento del material. Son suelos con promedios de arcilla de más de 30% a una profundidad de 20 cm y presentan grietas la mayor parte del año, especialmente durante la estación seca.

Wilding (1995), menciona que en Abangares y regiones aledañas una gran parte de estas tierras están ocupadas por este tipo de suelos, los cuales son considerados ricos en bases, con alta fertilidad natural y suficientes nutrientes, excepto nitrógeno y fósforo, y con altos contenidos de arcilla. Dichos suelos están siendo subutilizados principalmente por el difícil manejo de sus propiedades físicas y por la disponibilidad de agua.

Son suelos agrietados, siendo esta una característica muy definida en ellos, con grietas que varían en profundidad desde 24 hasta 85 cm; en longitud desde 25 hasta 65 cm y en ancho desde 2 hasta 10 cm. Esta característica afecta mucho el desarrollo radicular de las especies, especialmente en sus primeras etapas de crecimiento. Adiciones fuertes de materia orgánica y aserrín permiten contrarrestar un poco esta situación.

Los suelos del área de estudio son profundos, con pH de 6.2, con moderado drenaje natural, de relieve plano con pendientes aproximadas al 2%, erosión ligera, ausencia completa de rocas y piedras, con profundidad efectiva de más de un (1) metro, contenidos altos de calcio y magnesio, medios en potasio y con alta capacidad de intercambio catiónico y bajos en fósforo y nitrógeno. La textura va de franco-areno-arcillosa a arcillosa (Cuadro 2). Se ha observado en Guanacaste que dichos suelos se restringen a áreas dreccionales con un período estacional de deficiencia de humedad, lo que trae como consecuencia alta disecación y agrietamiento.

Los análisis de laboratorio del suelo, la ceniza y el estiércol se presentan en los Cuadros 1 y 2.

**Cuadro 1**  
**Resultados del Análisis de Suelo del Sitio donde se Estableció el Ensayo**

TIPO DE ANÁLISIS											
MUESTRA	pH	C mol(+)/L					mg/L				
	H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Acidez	CICE	P	Cu	Fe	Mn	Zn
1	6.0	33.4	14.9	0.38	0.5	49.18	2.7	8.1	11.0	18.0	2.8
2	6.4	28.0	6.3	0.39	0.3	34.99	2.5	8.7	26.0	17.4	1.8

El suelo muestra un pH casi neutro, con contenidos altos de Ca y Mg pero medios a bajos en K, Zn, Cu y P (Cuadro 1). Por esta razón, la adición conjunta de ceniza y estiércol (gallinaza), que proporcionan cantidades de los elementos limitantes para el crecimiento de los árboles es recomendable.

**Cuadro 2**  
**Análisis de Textura del Suelo**

MUESTRA	PROFUND.	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA
1	0-30 cm	24	20	66	Arcilloso
2	0-30 cm	32	28	40	Franco-areno-arcilloso

El análisis de la disponibilidad de nutrimentos proveniente de las enmiendas utilizadas en el experimento (ceniza y gallinaza), se incluyen en el Cuadro 3. Puede notarse que la aplicación de 1 litro (equivalente a 1 kg) de este material, pone a disposición de los árboles 39.9 cmol de K en el caso de la ceniza y 998 mg de P en el caso de la gallinaza. Obviamente, la combinación de estas dos enmiendas, suple suficiente K y P para el crecimiento inicial, en adición a las cantidades importantes de Ca, Mg, Cu y Zn, esenciales para el desarrollo de los árboles.

**Cuadro 3**  
**Disponibilidad de Elementos Nutritivos de la Ceniza y el Estiércol**

Material	Cmol(+)/L					mg/K				
	N%	Ca	Mg	K	Acidez	P	Cu	Fe	Mn	Zn
Ceniza	0.01	0.38	0.07	39.9	tr	92	16	4	7	1.3
Estiércol	0.02	4.98	4.4	18.7	tr	998	9	26	51	49

\* Nótese la riqueza del K en la ceniza, y el P, Ca, Zn y Mg del estiércol.

Previo al establecimiento de la plantación se chapeó el terreno, se quemó y se rastreó a una profundidad de 30 cm. El material utilizado fueron pseudoestacas de 20 cm en la parte aérea y 30 cm en la parte radicular con raíces primarias y secundarias. El espaciamiento inicial fue 4 x 3 metros (833 árboles por hectárea).

## DISEÑO EXPERIMENTAL Y APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS

Para evaluar el crecimiento inicial de la teca bajo diferentes niveles de fertilización con ceniza, fertilizante orgánico (estiércol), fertilizantes químicos como cloruro de potasio y NPK-10-30-10, se estableció un experimento con diseño de bloques al azar con tres (3) repeticiones y ocho (8) tratamientos. Los tratamientos fueron:

	<b>Códigos</b>	<b>Cantidad/árbol</b>
1.	E0 C0 F100, Estiércol 0, Ceniza 0, Fertilizante 100 g	100 g/árbol
2.	E0 C0 F200, Estiércol 0, Ceniza 0, Fertilizante 200 g	200 g/árbol
3.	E0 C1 F000, Estiércol 0, Ceniza 1 ton, Fertilizante 0 g	120 g/árbol
4.	E0 C1 F100, Estiércol 0, Ceniza 1 ton, Fertilizante 100 g	220 g/árbol
5.	E0 C1 F200, Estiércol 0, Ceniza 1 ton, Fertilizante 200 g	320 g/árbol
6.	E1 C0 F000, Estiércol 1 ton, Ceniza 0, Fertilizante 0 g	120 g/árbol
7.	E1 C1 F000, Estiércol 1 ton, Ceniza 1 ton, Fertilizante 0 g	240 g/árbol
8.	Testigo, sin fertilizante	0 g/árbol

### Dosis

120 g/árbol = 1 ton ceniza por ha

120 g/árbol = 1 ton estiércol por ha

100 g/árbol de 10-30-10

200 g/árbol de KCl

Se utilizaron parcelas de 25 árboles con espaciamento inicial de 4 x 3 metros, 833 árboles por ha, midiendo solamente los 9 árboles centrales. El área de la parcela fue de 108 m<sup>2</sup> (9 x 12 m).

Las pseudoestacas se plantaron la primera semana de mayo de 1994, cuando tenían una altura promedio de 10 cm. La fertilización fue realizada manualmente al momento de la plantación, aplicando la dosis respectiva en el fondo del hoyo.

El mantenimiento del experimento consistió de chapias y plateos (rodajeas) alrededor de los árboles para eliminar la competencia de malezas.

Las mediciones fueron realizadas únicamente en los nueve (9) árboles centrales de cada parcela, dejando una línea de árboles para eliminar el efecto de borde. La medición se efectuó a los siete meses de edad, después de establecido el ensayo. Para la medición de los árboles se utilizaron los formularios de campo del sistema de Manejo de Información sobre Recursos Naturales, conocido como MIRA (Ugalde, 1988) del CATIE. Se midieron las variables de supervivencia y altura total.

Los resultados se procesaron aplicando análisis de varianza para las variables altura y sobrevivencia a la edad de siete meses, así como, la prueba de rango múltiple de Duncan, para

lo cual se utilizó el programa estadístico SYSTAT (Ugalde, 1994).

## RESULTADOS

Los valores promedios de las variables altura y supervivencia para la edad de siete meses correspondiente a cada tratamiento de fertilización, se presentan a continuación.

### Altura Total

La Figura 1 y el Cuadro 4, se observa que el crecimiento en altura en metros hasta los siete meses de edad, los tratamientos E0C1F100 y E1C1F000 fueron los más altos con 1.18 y 0.97m respectivamente en comparación con el testigo que alcanzó 0.49 m siendo el menor, con una diferencia de hasta 0.68 m que representa un 58% más de crecimiento.

### Supervivencia

En la medición a los siete meses se observó que, la supervivencia fue menor en algunos tratamientos con fertilizante en comparación con el testigo, aunque en forma no significativa. En general la supervivencia fue alta en todos los tratamientos, mayor al 74%.

**Cuadro 4**  
**Crecimiento en Altura Total en Metros y Supervivencia en % de *Tectona grandis***  
**a los Siete Meses de Edad en Guanacaste, Costa Rica**

CÓDIGOS	CANT./ÁRBOL	ALTURA EN METROS	SUPERVIVENCIA EN %
1. E0 C0 F100	100 g/árbol	0.66	89
2. E0 C0 F200	200 g/árbol	0.59	78
3. E0 C1 F000	120 g/árbol	0.59	81
4. E0 C1 F100	220 g/árbol	1.18	92
5. E0 C1 F200	320 g/árbol	0.74	96
6. E1 C0 F000	120 g/árbol	0.68	74
7. E1 C1 F000	240 g/árbol	0.97	78
8. Testigo, sin fertilizante	0 g/árbol	0.49	85

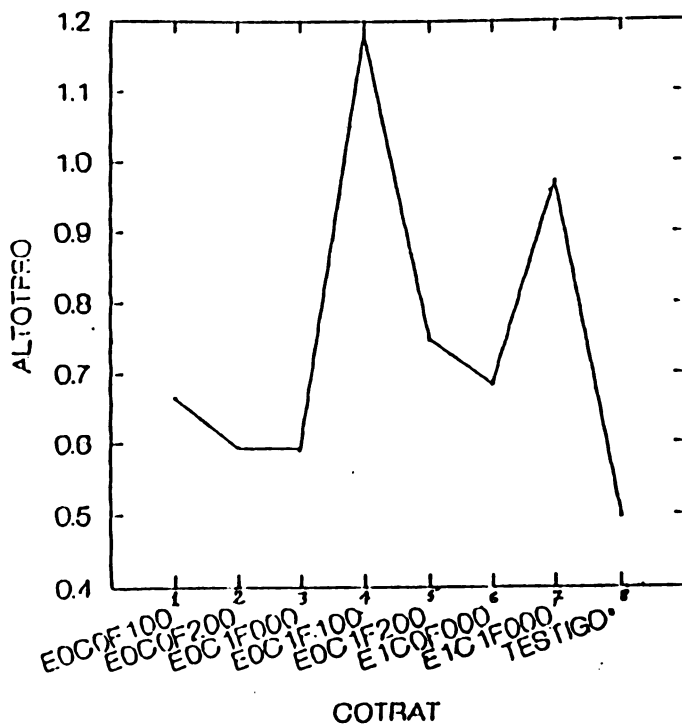


Figura 1

Crecimiento en Altura Total de *Tectona grandis* a los Siete Meses de Edad en Guanacaste, Costa Rica

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los análisis de varianza realizados indican que las dosis de fertilizante no influyen significativamente en la supervivencia de la especie para las condiciones del sitio a la edad de siete meses (Cuadro 4); como si influyeran significativamente en el crecimiento en altura, ya que, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con probabilidad del 5%.

Es evidente, que ni el fertilizante NPK, ni la ceniza y el estiércol por sí solos aumentaron el crecimiento en altura total de los árboles.

Es importante destacar que la combinación de ceniza con NPK y la ceniza con estiércol mostraron los crecimientos más altos en altura. A la vez, estos coinciden con las dosis más altas de fertilizante total aplicado por árbol, 220, 320 y 240 gramos respectivamente.

Estas diferencias significativas encontradas en altura entre los tratamientos, concuerdan con los encontrados por Rodríguez y otros (1991), quienes reportaron que en Hojancha, Costa Rica los



tratamientos con fertilizantes 12-24-12 y Urea mostraron diferencias significativas para la variable altura a los 18 meses de edad; mientras que en la Palma de Abangares a los siete meses ya se daban estas diferencias. Es muy probable que la razón se deba fundamentalmente a las características de los suelos, a la pendiente y a las dosis utilizadas en la ceniza. Torres y otros (1992), encontraron que plantaciones de teca fertilizadas en Venezuela con dosis de 740 kg/ha de fosforita, bajo suelos de drenaje moderado, produjeron 1.4 veces más de crecimiento en diámetro en comparación con el testigo y a otros tratamientos; mientras que la altura promedio fue 1.7 veces mayor en las parcelas fertilizadas en comparación con las no fertilizadas.

También Kishora (1987), encontró en plantaciones bajo suelos pobres en fósforo, respuestas significativas de la teca a la aplicación de fosfato de amonio durante los primeros dos años de crecimiento, a partir de 120 gr/planta.

Sundralingan (1982), encontró que aplicaciones de fertilizante conteniendo 150 mg de nitrógeno y 160 mg de  $P_2O_5$ , aumentaban el crecimiento de plántulas de teca en experimentos llevados a cabo en Malasia. Igualmente, encontró que aplicaciones solas de 150 mg de nitrógeno no aumentaban el crecimiento de la misma.

Fue interesante destacar que las aplicaciones de ceniza, ricas en potasio y bajas en calcio, asociadas a fertilizantes químicos altos en fósforo, dan a entender buena asociación entre ambas. Sin embargo, está bien documentado que la teca es una especie calcícola, tal como lo demuestran Gangopadhy y otros (1987), en sus trabajos sobre teca en suelos en north-west Bengal, donde encontraron altos consumos de  $Ca^{++}$  por parte de la especie, ya que este elemento representó el catión dominante en los suelos, coincidiendo lo anterior en cierta manera con lo entrado en los suelos de Abangares, donde se han encontrado valores de 33.4 para el catión  $Ca^{++}$ ; con la ventaja de que dicho catión se acumula en las hojas en grandes cantidades, a diferencia de otros cationes, y no es lavado hasta que las hojas caen, enriqueciendo de esta manera el suelo con dicho elemento.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Aplicaciones solas de fertilizante químico u orgánico no mostraron los mayores crecimientos en altura total de la teca.
2. Aplicaciones de 120 g/árbol de ceniza y 100 gramos de N-P-K, 10-30-10, aumentan significativamente el crecimiento.
3. Aplicaciones de 120 g/árbol de ceniza con estiércol también aumentaban el crecimiento.
4. La supervivencia de la teca no mostró diferencias significativas al aplicar los fertilizantes.
5. La combinación de ceniza con NPK, y la ceniza con estiércol mostraron los crecimientos más altos en altura. A la vez, estos coinciden con las dosis más altas de fertilizante total aplicado por árbol, 220, 320 y 240 gramos respectivamente. De manera que, el crecimiento en altura se vió influenciado tanto por la combinación como por la cantidad total del fertilizante. El mejor crecimiento arrojó una diferencia en altura de 58% en comparación con el testigo.
6. La diferencias en costo tanto del estiércol como de la ceniza son significativamente menores al comparárselas con los costos de los fertilizantes químicos; ya que mientras un kilogramo de ceniza o estiércol cuesta alrededor de 42.50 colones (\$0.24 USA), el kilogramo de fertilizante alcanza el valor de 58.00 colones (\$0.33 USA).
7. Toda una adopción de tecnología muy apropiada de bajo costo incorporando materia orgánica, aserrín, ceniza, estiércol, lombrices va a permitir a este tipo de suelos un mejoramiento sustancial en sus propiedades físicas así como un incremento significativo en el crecimiento.

También esta práctica se ha llevado a cabo en plantaciones de teca de 15 años y se ha observado una buena asociada con la leguminosa *Desmodium ovalifolium* como cobertura rastrera del suelo, protegiéndolo y mejorándolo a través de la fijación de nitrógeno. Además, debe tenerse presente que toda adopción de tecnología debe acompañarse de una práctica cultural que es fundamental, cual es el drenaje, especialmente en los períodos de invierno donde se producen grandes encharcamientos que inhiben el buen desarrollo de especies como teca, pochote, ron-ron, caoba y otras que no soportan estos medios para su buen crecimiento.

8. Se recomienda seguir investigando con el estiércol y la ceniza con otras dosis y combinaciones y realizar los análisis económicos correspondientes.

---

### BIBLIOGRAFÍA

- Friday S., Kathleen. 1987. Site index curves for teak (*Tectona grandis* L.): in the limestone region of Puerto Rico. *Commonw. For Rev.*: 66(3): 239-252.
- Gangopadhy, S. K. et al. 1987. Nature and properties of some introduced teak (*Tectona grandis*) growing in soils of north-west Bengal. *Indian Forester*: 113: 65-72. India.
- Kishore, N. 1987. Preliminary studies on the effect of phosphatic fertilizers on teak plantation. *Indian Forester*, vol 113(6): 391-394.
- Rodríguez, D. M. et al. 1991. Respuesta de *Tectona grandis* L.F. (teca) a la fertilización en Hojanca y Nandayure, Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*. (7): 3-22. Heredia, Costa Rica.
- Sundralingam, P. 1982. Some preliminar studies on the fertilizer requirements of teak. *The Malaysian Forester*, vol 45(3): 361-366.
- Torres et al. 1993. Respuesta inicial de crecimiento a la fosforita en teca en los llanos occidentales de Venezuela. *Turrialba Vol.* 43(2): 113-118. Turrialba, Costa Rica.

---

**PRODUCTIVIDAD Y RESPUESTA DE *Eucalyptus grandis* A DIFERENTES  
TRATAMIENTOS DE ESPACIAMIENTO Y FERTILIZACIÓN  
EN TURRIALBA, COSTA RICA**

Luis Ugalde\*  
William Vásquez\*\*

### **Ubicación del Sitio Experimental**

El objetivo de este ensayo fue el de evaluar el comportamiento de *Eucalyptus grandis* a diferentes espaciamientos y dosis de fertilizante. El experimento se estableció en los terrenos del CATIE en Turrialba, Costa Rica, a una altitud de 600 msnm y una precipitación anual de 2600 msnm.

### **Tratamientos**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas y tres repeticiones. Se probaron cuatro espaciamientos 2 x 1, 2 x 2, 2 x 3, y 2 x 4 metros y cuatro niveles de fertilización 0, 50, 100 y 150 g/árbol, aplicados al hoyo al momento de la plantación (10-30-10, NPK). Se utilizaron parcelas de 36 árboles (6 x 6) y se midió la parcela útil de 16 árboles (4 x 4), dejando una línea de árboles de borde. El Cuadro 1, muestra los resultados de crecimiento y productividad de los 16 tratamientos a los 6.5 años de edad.

### **Resultados y Discusión**

Los primeros análisis realizados en 1989, indican entre otros, varios aspectos importantes:

- a) El efecto de la aplicación de fertilizante sobre el crecimiento en diámetro y altura total inicia a los cinco meses de edad y finaliza después de los nueve meses, observándose diferencias significativas al 5%.
- b) Siempre los tratamientos de 50 y 150 g/árbol fueron superiores al testigo tanto en dap como en altura total ( $P < 0,05$ ). El tratamiento de 100 g/árbol no mostró una tendencia homogénea.

---

\* Hh. D. Manejo de Información, MADELEÑA-3, CATIE. Turrialba, Costa Rica  
\*\* Msc. Silvicultor. MADELEÑA-3, CATIE. Turrialba, Costa Rica

**Cuadro 1**  
**Valores Promedio de Crecimiento y Rendimiento de *E. grandis*, Bajo 16 Tratamientos de Fertilizante y Espaciamiento a los 6.5 años de Edad en Turrialba, Costa Rica**

TRATAMIENTO	SUP (%)	DAP (cm)	H (m)	G (m <sup>2</sup> /ha)	VOL (m <sup>3</sup> /ha)	IMA VOL (m <sup>3</sup> /ha/año)
5000/000g	50	17.1	24.6	56.88	612.0	94.1
5000/050g	60	16.5	26.2	64.85	728.4	112.0
5000/100g	56	16.2	23.7	63.32	593.32	91.3
5000/150g	54	17.3	24.2	64.48	665.6	102.4
2500/000g	54	17.6	24.9	34.18	354.2	54.5
2500/050g	69	16.8	25.1	38.40	415.9	63.9
2500/100g	62	17.4	24.6	38.81	392.77	60.4
2500/150g	65	18.3	24.7	42.49	457.1	70.3
1667/000g	52	19.5	28.6	25.66	320.1	49.2
1667/050g	62	19.3	25.8	31.60	337.4	51.9
1667/100g	73	17.6	27.9	29.78	357.5	55.0
1667/150g	79	20.8	28.4	43.80	549.3	84.5
1250/000g	71	20.4	26.1	29.13	327.4	50.4
1250/050g	83	19.8	29.1	32.46	401.9	61.8
1250/100g	81	20.1	27.8	32.09	386.2	59.4
1250/150g	69	20.1	30.0	29.50	390.9	60.1

$$V = 0.0015242 + 0.0000332 d^2h \text{ (Vásquez y Ugalde, 1993)}$$

- c) Una segunda fertilización deberá realizarse después de los nueve meses de edad. 150 g/árbol no mostró diferencias significativas en dap y altura comparado con los tratamientos de 50 y 100 g/árbol.
- d) A los 12 meses de edad, el efecto del fertilizante sobre el diámetro y la altura deja de ser significativo, mientras que el efecto del espaciamiento se mantiene sólo para la variable diámetro ( $P < 0,05$ ).
- e) El volumen total producido a los 22 meses varió desde 148 m<sup>3</sup>/ha con 5000 arb/ha hasta 59 m<sup>3</sup>/ha con 1250 arb/ha; esto es incrementos medios anuales de 80 y 32 m<sup>3</sup>/ha/año, respectivamente.
- f) A pesar de que las diferencias relativas en cuanto al efecto del fertilizante desaparecen a los 12 meses de edad, la ganancia absoluta en volumen a los dos años fue de 14 y 33%, para los tratamientos con mayor densidad y fertilizante.

- g) Para producción de leña se pueden recomendar densidades de 5000 arb/ha mientras que otros productos de mayor diámetro pueden requerir densidades de 2500 hasta 1250 arb/ha.

Con la cosecha total a tala rasa realizada en 1993, se inició el segundo análisis.

A los 6.5 años, esta especie varió la supervivencia de sólo 50% en las densidades de 5000 árboles/ha, hasta 81% en las densidades de 1250 árboles/ha. Con respecto a la altura total, ésta alcanzó 24 m en las mayores densidades (5000 arb/ha) y hasta 30 m en las densidades de 1250 árboles/ha. El diámetro con corteza alcanzó valores de sólo 16 cm con 5000 árboles/ha hasta 21 cm en densidades de 1250 árboles/ha.

Los rendimientos de esta especie en área basal y volumen, son mayores que los reportados para Colombia, Brasil y África del Sur, ya que a los 6.5 años de edad en los espaciamientos de 5000 y 1250 árboles/ha, se alcanzan valores desde 29 hasta 65 m<sup>2</sup>/ha. El ámbito de volumen total con corteza encontrado, alcanzó de 320 hasta 728 m<sup>3</sup>/ha, esto en los tratamientos de 1667/000g y 5000/050g, respectivamente.

A esta edad, la aplicación de 150 gramos de 10-30-10 (NPK), mostró ganancias que varían de 8 a 18% en las densidades de 5000 y 1250 árboles/ha, con respecto a su testigo sin fertilizar.

La Figura 1 muestra el desarrollo del incremento medio anual en volumen total con corteza, ajustado por regresión, para cada una de las densidades probadas. Los incrementos medios anuales mejores en volumen se alcanzan alrededor de los cuatro años de edad, para densidades de 5000 árboles/ha y alrededor de los cinco años, para densidades de menos de 2500 árboles por hectárea.

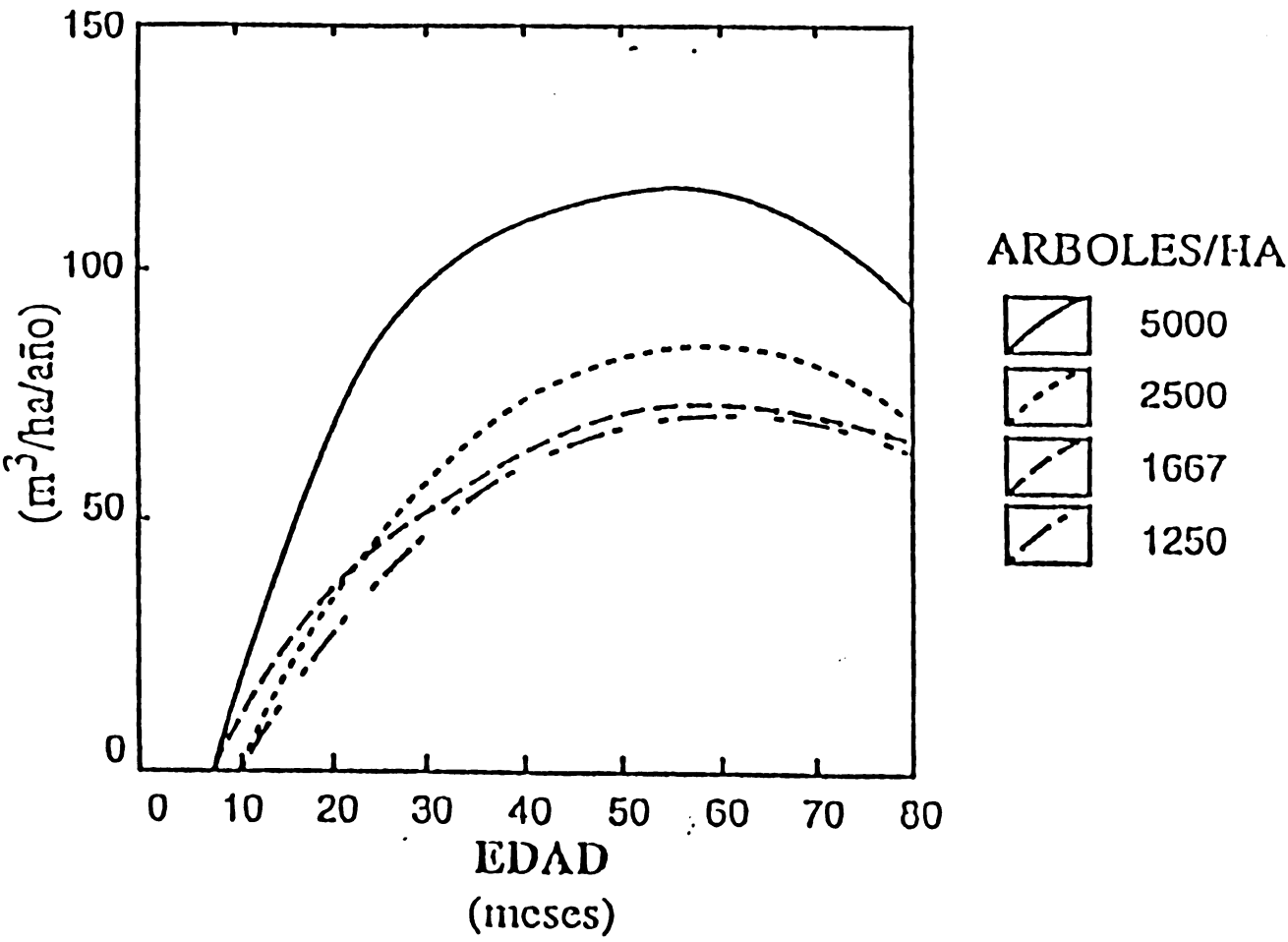
La productividad total en términos de volumen total con corteza arrojó incrementos medios anuales desde 49 m<sup>3</sup>/ha/año en 1667/000g hasta 112 m<sup>3</sup>/ha/año con 5000 arb/ha y 50 g/arb.

Considerando los resultados con esta especie en otras partes del trópico, estos rendimientos se pueden considerar como excepcionales.

No cabe duda que los *Eucalyptus* tienen gran potencial tanto para zonas secas como para zonas húmedas, sin embargo para las especies que se manejen a través del sistema de rebrotes es necesario continuar cuantificando el crecimiento de diferentes ciclos de producción posteriores a la tala, para desarrollar tablas de rendimiento para rebrotes en densidades diferentes y con ciclos de corta de acuerdo con los productos y las calidades de los sitios reforestados.

\* Ajuste utilizado 127 árboles de *Eucalyptus grandis* ubicados en Turrialba, sin publicar.

Figura 1  
Crecimiento Medio Anual en Volumen Total con Corteza para *Eucalyptus grandis*  
Bajo Cuatro Densidades Iniciales de Plantación en Turrialba, Costa Rica



## FERTILIZACIÓN DE PLANTACIONES FORESTALES EN LA RESERVA FORESTAL LA YEGUADA, PANAMÁ

William G. Dyson\*

### I. INTRODUCCIÓN

El proyecto de reforestación "La Yeguada" en Panamá, es uno de los más exitosos de la región centroamericana. Actualmente consta de unas 3,000 has de plantaciones de *Pinus caribaea var. hondurensis* establecidas para la protección de la cuenca del río San Juan, y las orillas de una laguna artificial que sostiene dos plantas hidroeléctricas de 7 MW de capacidad instalada.

El área se extiende a elevaciones entre 500 m y 900 m sobre el nivel del mar y recibe un promedio anual de 3,300 mm de lluvia. Anteriormente la cuenca estaba casi totalmente cubierta de pastos muy degradados con serios problemas de erosión de suelo. Los suelos actuales, como resultado de la precipitación alta, la vegetación escasa y una larga historia de fuegos anuales, son muy infértiles.

Durante el período 1967-72 un programa de investigación integrado por la FAO, el PNUD y el RENARE (hoy día INRENARE), estableció una serie de parcelas experimentales de prueba de especies forestales aptas para reforestación de estos suelos con pastos degradados. Rápidamente se reveló que *Pinus caribaea var. hondurensis* era casi la única especie exitosa en la Yeguada y ésta se plantó exclusivamente después. [1]

El técnico encargado de las parcelas experimentales, Ing. J. M. Howell, consideró que la fertilización podría ser útil e inició una serie de experimentos con fertilizantes. Demostró que una dosis inicial de fertilizante mejoraba la sobrevivencia y el crecimiento de los arbolitos hasta el cuarto año. En seguida, estableció unas parcelas a escala de campo (5 ha aprox.) para demostrar las ventajas de la técnica desarrollada. También aumentó sus experimentos con tres parcelas más para establecer si existe una ventaja adicional cuando se hace una aplicación de fertilizante fosfático varios años después de la dosis inicial. [2, 3]

En noviembre de 1978, el autor, en compañía de otros técnicos y estudiantes graduados del CATIE, visitó la Yeguada y las áreas donde trabajaron el Ing. J. M. Howell y sus asistentes panameños. Encontraron una gran diferencia entre las plantaciones demostrativas del Ing. Howell y las plantaciones vecinas que plantaron después. Esa diferencia no se explicó completamente en diferencias de edad o de sitio de las varias

---

\* Msc. Silvicultor, CATIE. Turrialba, Costa Rica



plantaciones y era obvio que algo benéfico que hizo Howell y sus asistentes ha sido olvidado y no se practica actualmente.

## II. LOS SUELOS

Los suelos en la Yeguada son latosoles y debido a su sobreutilización como pasto en combinación con fuegos anuales durante un largo período, han perdido su capa superficial fértil por erosión. Existen áreas donde el horizonte B/C se ve expuesto a la superficie del terreno y tiene apariencia de roca suave. Estas áreas casi no tienen vegetación, pero dentro de las plantaciones forestales la vegetación se establece de nuevo y una capa orgánica empieza a desarrollarse.

El Cuadro siguiente da datos promedios del análisis de muestras de suelo en seis (6) plantaciones no muy distantes de las parcelas de investigación (datos tomados de Gewald [4]).

**Cuadro 1**  
**Algunos Parámetros Químicos de Suelos en la Plantación La Yeguada**

PROFUNDIDAD	pH EN AGUA	PROMEDIOS DE 6 CALICATAS DE INVESTIGACIÓN					
		meq/100 ml SUELO			µg ml DE SUELO		
		Ca	Mg	K	P	Zn	B
0 - 15	5.0	0.46	0.24	0.06	0.5	2.0	Tr.
15 - 30 cm	5.1	0.36	0.17	0.05	0.3	1.9	-
30 - 50	5.1	0.38	0.20	0.04	Tr.	1.8	-
(Tr. = traza; - = menor que el límite de detección del método químico)							

Se ve que estos suelos son muy infértiles y que los contenidos de fósforo y boro son diminutos tal como el Ing. Howell lo había sospechado.

## III. DOSIS INICIAL DE FERTILIZANTES

El experimento con una dosis inicial de fertilizante aplicado al momento de sembrar se efectuó en julio/agosto de 1968, y en forma de un experimento factorial parcial de cinco sustancias con ocho repeticiones. Los tratamientos y los resultados 3.6 años después de la aplicación aparecen en el Cuadro 2. De este cuadro se observa que cualquiera de las cuatro (4) sustancias de abonamiento aplicadas, mejora la sobrevivencia y el crecimiento de altura, pero el fertilizante comercial (15: 15: 15, NPK) casi duplica la sobrevivencia y el crecimiento de los arbolitos cuando se compara con el testigo.

**Cuadro 2**  
**Fertilización Inicial de *Pinus caribaea***  
**La Yeguada, Panamá (Expto. A<sub>1</sub> - E<sub>1</sub> - 1986)\***  
(Fertilizante se depositó en el hoyo donde se plantó el árbol  
y se cubrió con un poco de tierra julio/agosto 1968)  
Medición 3.5 años después de la aplicación

TIPO DE FERTILIZANTE	DOSIS (g/árbol)	CÓDIGO	SOBREVIVENCIA % (parcelas de 25 arbolitos)	ALTURAS PROMEDIO (m)
Testigo	0	H	47	0.84
Cal, Ca(OH) <sub>2</sub>	28.3 (1 oz)	G	59	0.94
Boro, H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub>	14.2 (0.5 oz)	B	54	0.95
Elementos Menores (Mezcla Smith/Douglas)	28.3 (1 oz)	C	59	0.97
Fertilizante Comercial 15: 15: 15, NPK	56.7 (2 oz)	A	71	1.60
Fertilizante + Boro (= A + B)	56.7 + 14.2	D	58	1.98
Fertilizante + Elementos menores (= A + C)	56.7 + 28.3	E	66	1.93
Fertilizante + Boro + E.M. (= A + C + D)	56.7 + 14.2 + 28.3	F	66	2.05
Diferencia mínima significativa P < 0.05			10	0.18

\* Datos re-calculados de la página 23 del informe de MacDonald, 1979 [4]

La combinación fertilizante 15: 15: 15 más boro, más elementos menores aumentó la sobrevivencia en un 40% y el crecimiento de altura en un 244%. En el mes de abril, el Ing. L. A. Ugalde, del CATIE, relocalizó estas parcelas en el campo y reportó que las diferencias medidas en 1972, aún son visibles en 1981, es decir 12 años y 9 meses después de la época de tratamiento. La tasa de aplicación de fósforo era solo de 21 kg  $P_2O_5$ /ha localizado en los hoyos donde se plantaron los árboles.

En base a los resultados preliminares de este y otros experimentos similares, el Ing. Howell plantó una parcela demostrativa de cinco (5) hectáreas (como he mencionado más arriba) y prescribió nuevos experimentos con fertilizantes fosfáticos.

#### IV. FERTILIZACIÓN FOSFÁTICA

El concepto del Ing. Howell era sencillo; y diseñó un experimento factorial para comparar cuatro niveles de fertilización fosfática con tres (3) intervalos de aplicación, a saber: al momento de plantar, un (1) año después y dos (2) años después. La realización resultó mucho más complicada. Para obtener los tres intervalos de aplicación se usaron tres plantaciones diferentes que confundieron las edades con diferentes sitios. También las tres plantaciones tuvieron espaciamientos diferentes, lo que tuvo como efecto de cambiar la dosis de fertilizante usado en cada parcela.

Surgió otra duda con respecto a las plantaciones que recibieron la dosis inicial de fertilizante y la dosis fosfática después, y en las plantaciones que recibieron únicamente la dosis fosfática.

Varios cálculos se hicieron para ajustar estas complicaciones pero sin lograr un éxito completo. Afortunadamente en la actualidad, la fertilización con fósforo estimuló el crecimiento de los arbolitos tan marcadamente que el efecto fue muy claro en el campo a pesar de las variadas complicaciones.

Las parcelas se establecieron en cada uno de los tres sitios, en forma de un cuadro latino con cuatro replicaciones de parcelas de nueve árboles y separados por grupos de nueve árboles no tratados entre cada parcela. El fertilizante se aplicó en la superficie de suelo en forma de anillo, en un radio de 1.25 metros (véase el mapa de los sitios y dibujos de las parcelas adjuntas).

#### V. RESULTADOS

Los resultados numéricos de la nueva medición ocho años y ocho meses después del tratamiento se presentan en el Cuadro 3. Este cuadro indica la altura dominante (m), el diámetro promedio (mm) y el volumen total con corteza en metros cúbicos por hectárea,

correspondiente al volumen en las parcelas<sup>\*\*</sup>. Se puede observar fácilmente que el crecimiento varía mucho entre los tres sitios. Siempre la aplicación fosfática mejoró el crecimiento de los árboles era menor y nunca produjo diferencias estadísticamente significativas. El crecimiento de diámetro respondió más a la fertilización y las diferencias de volumen/parcela difirieron significativamente en dos sitios de las tres y cuando las tres parcelas se consideraron juntas.

Pero sobre todo, 340 g de roca fosfatada por árbol aumentaron la producción volumétrica de 45 m<sup>3</sup>/ha durante el período del experimento, es decir a los ocho años y ocho meses, lo que da 5.4 m<sup>3</sup>/ha/año.

---

<sup>\*\*</sup> El volumen de contenido en una parcela se calculó colocando el diámetro y altura de cada árbol en las tablas de volumen elaboradas por Ugalde [5] y sumando para obtener el total por parcela.

## CUADRO 3 LA YEGUADA RESERVA FORESTAL

Mediciones de *Pinus caribaea* Nueve Años Después de una Fertilización Fosfática

Edad de la plantación cuando el fertilizante se aplicó

FERTILIZACIÓN	SITIO 1: 30 MESES			SITIO 2: 9 MESES			SITIO 3: 0 MESES		
	Altura dom. (m)	DAP (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Altura dom. (m)	DAP (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Altura dom. (m)	DAP (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)
Nula Testigo	12.2	168	179	10.5	153	106	7.4	126	44
Superfosfato Triple 170 g/árbol	13.5	199	260	10.1	128	69	8.9	157	86
Roca Fosfataada (piedras) 340 g/árbol	14.4	192	258	10.2	150	99	9.9	158	91
Roca Fosfatafa (polvo) 340 g/árbol	13.9	197	268	11.4	157	104	9.7	172	104
Diferencia mínima significativa 5%	ns	ns	ns	ns	ns	53	ns	22	16.5
Todos los tres sitios combinados	Testigo			10.1	149	105			
	SuperTriple Fosfato			10.8	162	129			
	Roca piedras 340			11.5	167	141			
	Roca polvo 340			11.7	175	150			
Diferencia mínima significante (p ≤ 0.05)	ns			ns	12	28			

Notas: El crecimiento difiere muy significativamente (p ≤ 0.001) entre los tres sitios. (n.s. indica que las diferencias entre tratamientos no alcanzan una diferencia significativa).

## VI. DISCUSIÓN

De los tres sitios, el mejor crecimiento parece estar en el sitio uno, donde la fertilización se aplicó 30 meses después de la siembra. Esta área es parte del área demostrativa que estableció el Ing. Howell en 1969, y las parcelas no son conspicuas en un rodal bueno. Podemos suponer que este sitio demostrativo recibió la dosis inicial de fertilizante que recomendó el Ing. Howell, es decir 56 g/árbol de fertilizante (N.P.K.) 15: 15: 15 y pequeñas cantidades de Boro y elementos menores (véase Cuadro 2). Esta dosis de fertilizante probablemente explica por qué las adiciones de fosfato después aumentaron el crecimiento, menos en este sitio que en los sitios 2 y 3 sobresalen y esto se nota inmediatamente a simple vista. No sólo se aprecia en los árboles mejor conformados y grandes, sino también por la vegetación silvestre del piso, que tiene mayor tamaño y densidad en las parcelas tratadas. Fuera de las parcelas, y en las parcelas testigos y las franjas separadores que no recibieron fosfato, la vegetación es baja y está compuesta principalmente de gramíneas. En contraste, la vegetación de las parcelas tratadas está compuesta de arbustos con especies de melatomataceas que aparecen, densas y frecuentemente con más de 2 m de altura.

Esta condición de la vegetación densa en las parcelas tratadas y la gran diferencia de crecimiento de los pinos en las parcelas tratadas y no tratadas, parece indicar que el fosfato permanece donde se depositó y no se dispersó mucho durante más de ocho años después de su aplicación. Este fue confirmado mediante un análisis de suelos en 1980, que se hizo en una de las parcelas tratadas en el sitio 1<sup>\*\*\*</sup> y que indicó un contenido de P de 26<sup>\*\*\*</sup>g/ml en la capa superior, un valor mucho mayor que el contenido de 0.5<sup>\*\*\*</sup>g/ml mencionado en el Cuadro 1.

## VII. RECOMENDACIONES

La práctica de plantar árboles en La Yeguada involucra enviar tres grupos de obreros al sitio. Los primeros chapean (si es necesario) preparar y hoyar en el terreno con un espacio preferido usualmente de 2.5 m x 2.5 m o de 3.0 m x 3.0 m. El segundo grupo aplica una dosis de fertilizante al fondo del hueco y el tercer grupo planta los arbolitos. En La Yeguada los obreros y capataces no brindan el cuidado necesario al proceso de fertilización desarrollado desde hace 10 años, lo que hace imprescindible una nueva capacitación.

La evidencia de estos experimentos es que los pinos en La Yeguada, necesitan tanto una dosis inicial de fertilizante completa (con Boro y elementos menores), como un gran aumento de fósforo. Aparentemente no importa la época en que se aplica y los aportes pueden combinarse con la dosis inicial. Es preferible localizar el fertilizante donde están los árboles y que se reparta demasiado, a fin de evitar la nutrición excesiva de la vegetación silvestre.

---

\*\*\* Datos tomados del análisis de suelo realizado por el Proyecto FAO/PAN/79/003.

En los suelos pobres como los de La Yeguada, el espaciamiento debe ser lo más ancho posible, es decir 3 x 3 m ó 3 x 4 m.

De lo anterior se hacen las siguientes recomendaciones:

a) Preparación de la mezcla de fertilizante

Durante la estación seca los obreros pueden mezclar (usando una mezcladora de concreto)

Roca fosfatada pulverizada,	14 volúmenes
****Fertilizante comercial 18: 5: 15: 6: 2	1 volumen
****Fertilizante comercial 18-10-6-5	1 volumen

y llenar medios sacos u otras unidades convenientes con la mezcla para transportar al campo remoto.

b) Preparación de medida

Debe prepararse una cantidad de medidas de volumen que contenga cada una 400g de la mezcla antes mencionada.

En la estación de siembra

c) Los hoyos deben hacerse a 3 m x 3 m.

b) Los hoyos deben ser de profundidad suficiente para recibir la dosis de fertilizante en el fondo, más una capa de suelo de 5 cm, y después de plantar el arbolito éste debe quedar a la misma profundidad para que la parte aérea quede al mismo nivel que en el vivero.

e) Los fertilizadores deben colocar una medida de fertilizante mezclado en el fondo de cada hoyo y taparlo con 5 cms de tierra.

f) Finalmente los que plantan deben hacerlo de la manera usual.

Vale la pena practicar todo esto antes de hacer la plantación principal.

## VIII. APÉNDICE

Los croquis de ubicación publicados en los informes de Howell [2] no contaban con detalles suficientemente precisos para permitir la localización exacta de estos

---

\*\*\*\* Estos fertilizantes de la marca "FERTICA" ya están almacenados en las bodegas de La Yeguada.

experimentos en el campo.

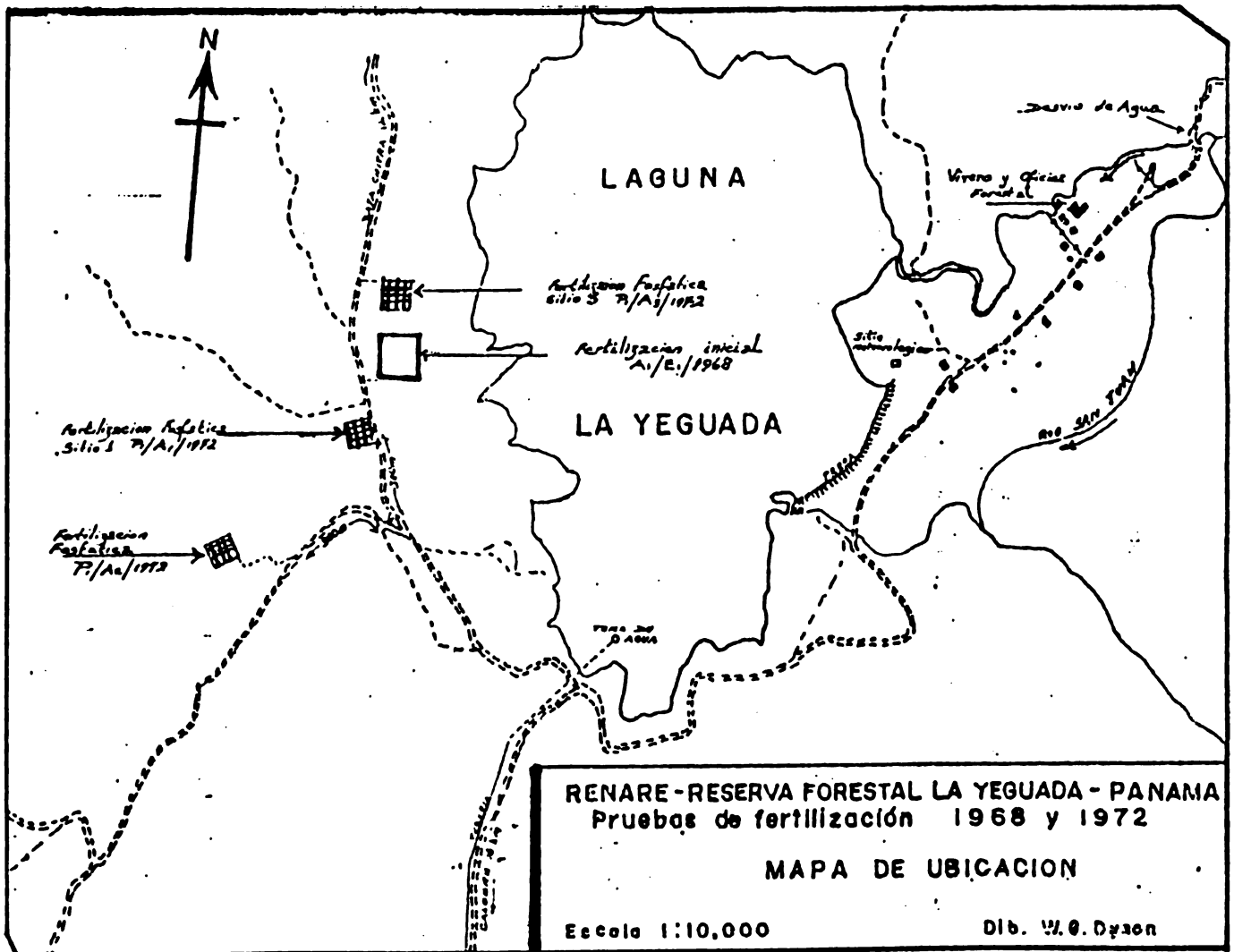
Se adjuntan las versiones revisadas que permitirán una nueva medición de las parcelas si así se desea en épocas futuras. (Anexo)

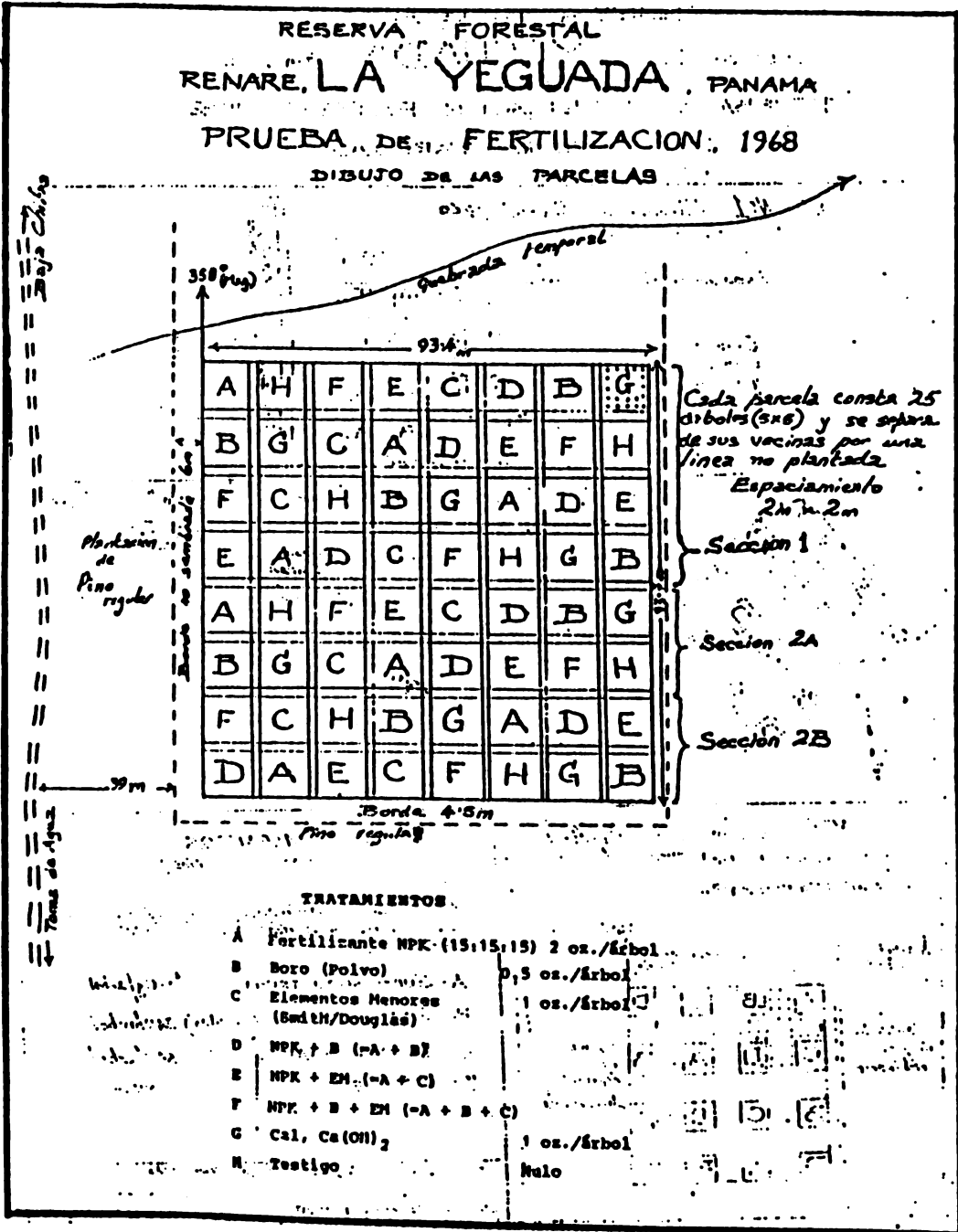


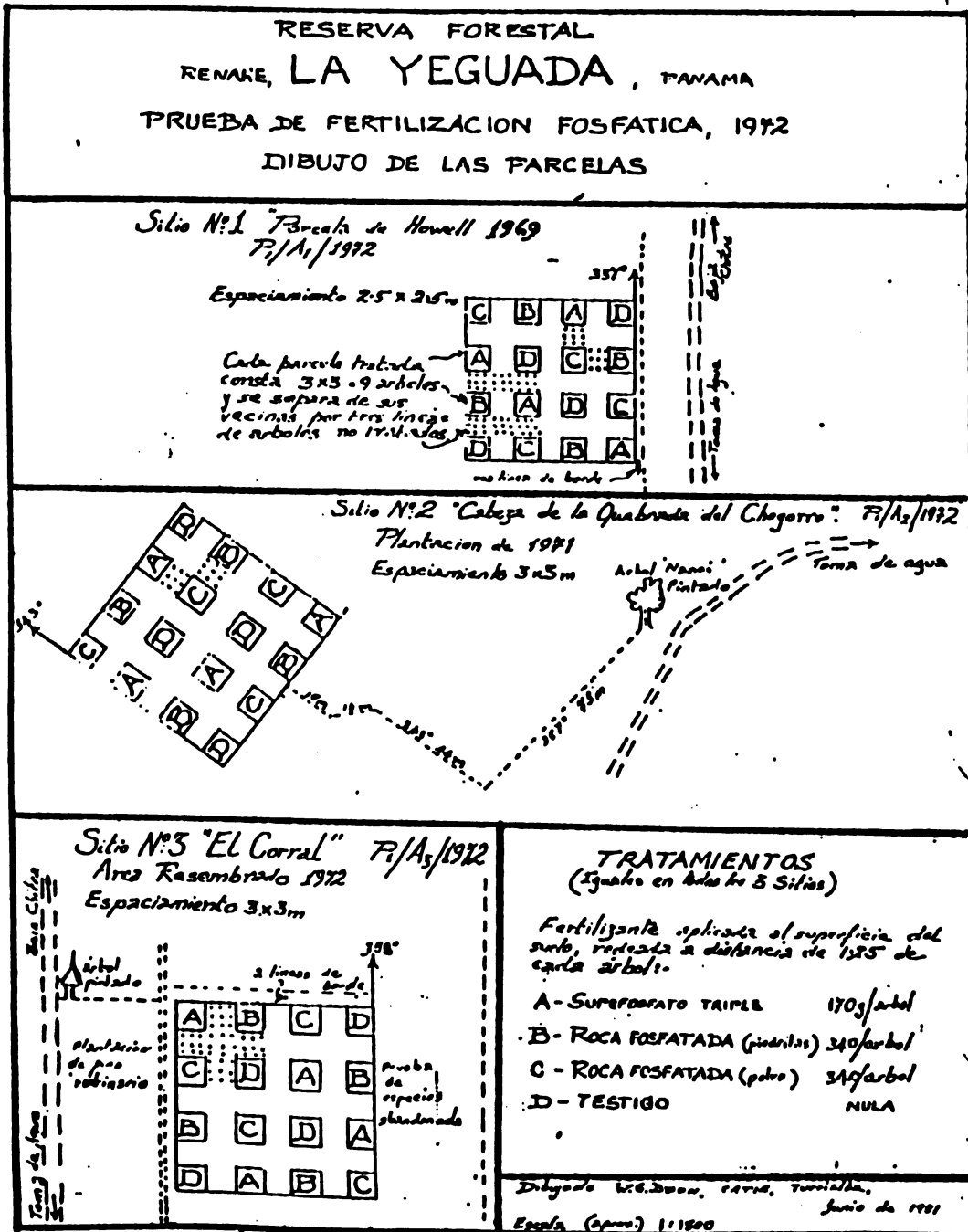
### REFERENCIAS

1. HUDSON, J. (1976) "Plan para la protección contra incendios forestales de la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá" CATIE, 20 pp + apéndices. (mimeografiado)
2. HOWELL, J. H. (1972) "REFORESTATION" - Informe preparado para el Gobierno de Panamá. FD: SF/PAN 6, Informe Técnico No. 11, FAO, Roma; 132 pp + apéndices.
3. MACDONALD, J. (1979) "Plantaciones experimentales en La Yeguada 1969". Informe técnico sp. del proyecto MACI-FAO-PNUD, RENARE, PANAMÁ. 29 pp. (mimeografiado).
4. GEWALD, N. J. (1980) "Datos de Crecimiento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá". Informe del CATIE, Turrialba, 8 pp. + apéndices. (mimeografiado)
5. UGALDE, L. A. (1981) "Tablas de Volumen para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá". Informe del CATIE, Turrialba, 7 pp. + 6 cuadros. (mimeografiado)

## **ANEXO**

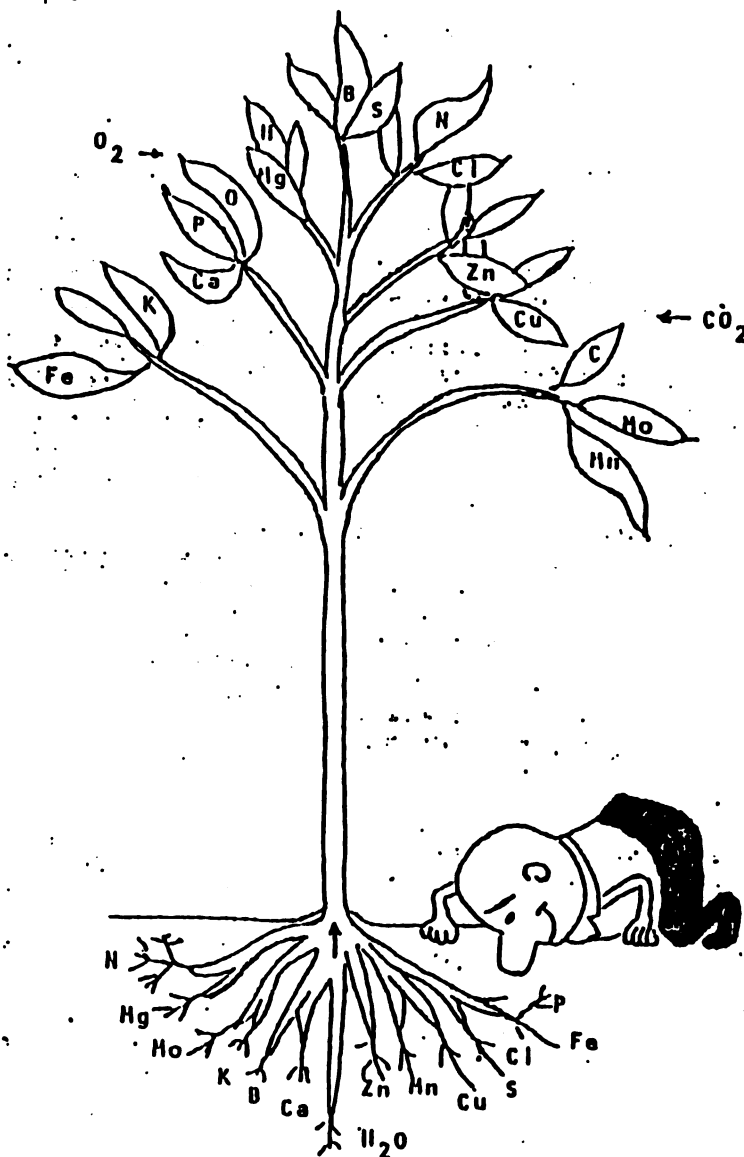






## CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES Y LOS ELEMENTOS NUTRIENTES ESENCIALES

C. B. Davey\*



\* Consultor y profesor de suelos forestales, Universidad del Estado de Carolina del Norte, Estados Unidos.

## Nutrientes Esenciales para los Árboles

Hay 16 elementos conocidos como esenciales para el crecimiento de árboles forestales. De estos, cuatro (4) se originan en la atmósfera, y 12 en el suelo. Este informe describe las funciones de cada elemento en el árbol y las consecuencias de una deficiencia en cualquiera de ellos.

Son únicamente dos de los factores que limitan el crecimiento de los árboles: la genética del árbol y la calidad del medio ambiente en el cual crece. Se está mejorando el componente genético mediante ensayos de procedencia, desarrollo de cepas criollas y selección de árboles. La calidad del medio ambiente incluye factores climáticos como la temperatura, precipitación pluviométrica y las propiedades del suelo. Los forestales deben cuadrar las necesidades de las especies con el clima existente. Algunas de las propiedades del suelo pueden ser alteradas para el beneficio de los árboles a costos que pueden ser económicamente atractivos, mientras que otras propiedades, no pueden alterarse dentro de márgenes económicos aceptables.

El medio ambiente del suelo puede decirse que consta de tres partes: la biológica, la física y la química. Para esta discusión sobre los elementos nutrientes esenciales para los árboles, supondremos que los factores biológicos tales como los hongos micorrizales y los microbios que fijan el nitrógeno están presentes y que no hay patógenos ni otras pestes, y que las propiedades físicas, tales como la textura del suelo, estructura, profundidad y contenido de materia orgánica son satisfactorios y que todos están presentes en un lugar donde hay una humedad (lluvia) adecuada y la temperatura y la acidez del suelo (el valor de pH y aluminio intercambiable) son adecuadas para la especie de árbol que vamos a plantar.

Se conocen 16 elementos que son esenciales para el crecimiento de los árboles. Estos se pueden dividir en dos grupos, los cuales se denominan macronutrientes y micronutrientes. Esta división se basa en la necesidad relativa de estos nutrientes que tienen los árboles. Hay nueve macronutrientes que se necesitan en el follaje de los árboles a niveles generalmente de 1000 partes por millón (ppm) o más y 7 micronutrientes que se requieren generalmente a 100 ppm o menos (Salisbury y Ross, 1978). Los macronutrientes que se encuentran en cantidades descendientes, incluyen: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y azufre (S). Los micronutrientes, que se encuentran en cantidades descendientes son: cloro (Cl), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo). Cuando se expresan en términos de números relativos de átomos de cada elemento, el rango incluye 60.000.000 átomos de H por cada átomo de Mo.

### Absorción, Balance y Movimiento de Nutrientes en el Árbol

La mayor parte de la extracción de nutrientes del suelo por el árbol ocurre en un declive de concentración. Es decir, la concentración en la raíz es generalmente más alta que la concentración en el suelo durante la extracción de nutrientes por el árbol. Por tanto, la energía

se gasta y cualquier factor que influya en la raíz o que acelere el metabolismo influirá en la cantidad de nutrientes que asciende (Lavanden y Walker, 1979). La concentración de nutrientes en el árbol también como la concentración en el suelo afectan su extracción y ascenso. Un nivel interno alto requiere cantidades excesivas de energía con el fin de mover un elemento nutritivo contra un alto declive de concentración.

La energía utilizada en la extracción de nutrientes se deriva de los carbohidratos que se han almacenado en las raíces. Ya que las yemas tienen el primer acceso a los carbohidratos formados durante la fotosíntesis, los árboles deben tener bastante luz para llevar a cabo suficiente fotosíntesis o la extracción de nutrientes del suelo se verá afectado por sistemas de raíces pequeños con bajos niveles de carbohidratos.

La cantidad de movimiento de nutrientes dentro de un árbol está influenciada por la cantidad de movimiento de agua y eventualmente por la tasa de transpiración. Algunos elementos, una vez que quedan fijos en posición en el árbol, se vuelven casi inmóviles. Estos incluyen Ca, Fe, Mn, Cu y Zn. Otros elementos se redistribuyen con relativa facilidad dentro del árbol desde los tejidos más viejos a los más nuevos. Estos incluyen N, P, K y Mg. Esta distribución o ciclaje interno puede ayudar a satisfacer algunas de las necesidades del crecimiento anual.

El balance nutricional es considerado importante para el eficiente crecimiento lo mismo que la concentración de nutrientes. Ignorando el C, O, y H, se utiliza más N que otros elementos (Ingestad, 1977, 1979) y al usar N como un valor de 100, la concentración relativa de otros nutrientes puede determinarse. Ingestad determinó la concentración óptima relativa para otros macronutrientes para siete coníferas de clima templado. Estos fueron: K, 54.3; P, 18.9; Mg, 5.4; y Ca, 5.3. No se ha informado sobre valores similares para especies tropicales. Sin embargo, un trabajo reciente escrito por Liegel (1981) en Puerto Rico, ha contribuido sustancialmente para que entendamos las necesidades de nutrientes del *Pinus caribaea*.

Una alta concentración de un elemento en el suelo a menudo baja la extracción de otros elementos similares. Por ejemplo, en suelos serpentinos, el alto nivel natural de Mg bajará la extracción de Ca. De la misma forma, en los suelos con bajo contenido de K, la aplicación de fertilizante con nitrógeno, con N presente como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), bajará la extracción de  $\text{K}^+$  y aumenta la severidad de la deficiencia de K.

Un árbol tomará una parte de cualquier elemento que esté en el suelo. Una sola muestra de follaje de una especie latifoliada mostró que contenía más de 60 de los elementos, incluyendo oro, plomo, mercurio, arsénico y uranio. Algunos elementos no considerados esenciales para el crecimiento, tales como el sílice, son acumulados por algunas especies en cantidades bastante grandes. Algunas especies tropicales latifoliadas no pueden ser utilizadas como madera de aserrío o pulpa debido a que el sílice que contienen destruye las sierras y otra maquinaria con sus propiedades abrasivas. Las raíces sí hacen alguna selección respecto de los elementos que se extraen. Esto se demuestra mediante el hecho de que se encuentran especies que muestran un alto contenido de sílice mezcladas con otras muchas que no lo acumulan, todas en el mismo



suelo.

Los elementos nutrientes se dividen no solo sobre la base de la cantidad necesaria (macronutrientes y micronutrientes) pero también sobre la base de su función. Algunos elementos son estructurales y otros regulan las reacciones químicas dentro del árbol. Algunos de los elementos nutrientes desarrollan ambas funciones. Por tanto, esta distinción no es tan clara como la que hay entre los macronutrientes y micronutrientes. Los síntomas que indican una deficiencia de cualquiera de los elementos nutrientes se ven afectados por dos factores. Estos son: (1) la función o funciones realizadas por el nitrógeno en el árbol y (2) si el nitrógeno es a no rápidamente trasladado de las partes viejas a las nuevas del árbol.

Un árbol típico en edad de cosecha principalmente contiene tres elementos nutrientes que raramente consideramos como tales. Son estos: C, O y H. En conjunto ellos constituyen más del 94% del peso del árbol.

### Función de los Macronutrientes

#### Carbono

El carbono forma los esqueletos de todas las moléculas orgánicas del árbol incluyendo la celulosa. Entra al árbol como  $CO_2$  a través de los estomas de las hojas o agujas y durante la fotosíntesis se reduce el C. Esto quiere decir que obtiene mucho hidrógeno del agua. Como el C representa como el 45% del peso del árbol, se puede apreciar una deficiencia del mismo cuando hay poco crecimiento. La deficiencia de  $CO_2$  en la atmósfera del bosque casi nunca ocurre, sin embargo frecuentemente los árboles no pueden obtener el  $CO_2$  de la atmósfera en cantidades óptimas. La causa de esta aparente deficiencia es indirecta. Como el  $CO_2$  debe entrar por los estomas cualquier condición que resulta en el cierre de los estomas, reducirá el suministro de  $CO_2$  para la fotosíntesis y por ende para el crecimiento. La sequedad es la razón más corriente del cierre de los estomas y por tanto, el árbol tiene un dilema: Al cerrar los estomas para conservar agua, también restringe la fotosíntesis, la cual suministra carbohidrato para el crecimiento estructural y la energía. Una deficiencia de K también estimulará el cierre de los estomas y produce una reducción en el crecimiento, similar a la anterior.

#### Oxígeno

Hay dos fuentes mayores y una fuente menor de oxígeno para el árbol. Primero, una buena parte del oxígeno entra a la planta como parte del  $CO_2$  utilizado en la fotosíntesis. Segundo, el O se saca directamente de la atmósfera durante la respiración como  $O_2$ . Tercero, una pequeña cantidad de O se adquiere del agua a través de reacciones de hidrólisis. De suerte que cualquier diferencia de O en las hojas resulta primordialmente de la sequía a través de sus efectos en los estomas y en el estado del agua en el árbol. Lo mismo que el C, el oxígeno suministra el 45% del peso del árbol.

### Hidrógeno

Como se dijo anteriormente, el mayor número de átomos de cualquier elemento del árbol es H. Esto puede verse en la fórmula general para los carbohidratos ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Sin embargo, debido a su muy bajo peso atómico, el hidrógeno es el tercer elemento en cuanto a porcentaje de composición del árbol y representa aproximadamente el 6% del peso total del árbol. La fuente de H es el agua que se utiliza en la fotosíntesis y por tanto cualquier deficiencia de hidrógeno es el resultado de la sequía ya que impide ambos el estado del agua en los árboles y causa que los estomas se cierren, impidiendo así la formación de  $\text{CO}_2$  y evitando que ocurra la fotosíntesis.

### Nitrógeno

Hay dos formas principales de N en el suelo que pueden ser utilizadas por los árboles. Son estas, el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). La mayor parte de las especies de árboles parecen aprovechar más eficientemente el  $\text{NH}_4^+$  que el  $\text{NO}_3^-$ . Esto es verdad en el caso de todos los pinos y la mayor parte de las especies latifoliadas que se han estudiado. La última fuente de N es el  $\text{N}_2$  de la atmósfera. Puede fijarse en las formas orgánicas solamente gracias a un pequeño grupo de microorganismos que incluyen bacterias especializadas, actinomicetes, y las algas azul-verdosas. Cuando estos organismos mueren el N orgánico se mineraliza para volverse  $\text{NH}_4^+$  y algo de esto se transforma en  $\text{NO}_3^-$  (nitrificación) por otras bacterias especializadas. El mal drenaje y la baja temperatura del suelo demora ambas, la mineralización y la nitrificación y pueden así introducir una deficiencia a pesar de haber abundante N en el suelo.

En el árbol, el N es una parte esencial de todos los aminoácidos, proteínas, enzimas y coenzimas, moléculas de clorofila, nucleótidos, ácidos nucleicos y muchos otros componentes vegetales. Por tanto, es un elemento extremadamente importante.

En el mundo, el N es el nutriente más comúnmente deficiente en los suelos forestales. Los síntomas de deficiencia en la mayor parte de los árboles son la clorosis (el color amarillo-verdoso de hojas o agujas) y la reducción del crecimiento. Aún donde no se han presentado síntomas de deficiencia, se ha visto una respuesta sustancial en el crecimiento cuando se ha fertilizado con N, especialmente después de la entresaca en rodales cerrados. La deficiencia de N es más común en suelos lixiviados tal como ocurre en los llanos y en los suelos orgánicos tales como turba. En el caso anterior la deficiencia resulta de una falta de N en el suelo y en el último caso es el resultante de poca mineralización de un gran suministro.

La fertilización operacional de los bosques con N se ha convertido en una práctica común en Europa, Norte América, Australia, Nueva Zelanda, Japón y Sur África. Se han hecho pruebas con resultados positivos en los Andes y en los Llanos Orientales de Colombia. Todavía faltan por hacer los estudios económicos, pero la fertilización con N de algunos suelos boscosos será casi seguramente económicamente favorable.

### Potasio

El único macronutriente que no tiene un papel estructural en el árbol es el K, sin embargo, se necesita en cantidades relativamente grandes para cumplir con sus diversas funciones reguladoras. En ambos, el suelo y el árbol, el potasio se encuentra como  $K^+$  ión. Consecuentemente es altamente móvil en el árbol y puede ser lixiviado de las hojas por la lluvia. Como se dijo bajo los títulos de C, K es importante en la regulación de la apertura y cierre de los estomas. Activa muchas enzimas y las síntesis de muchos almidones y proteínas. También está involucrado en mantener el balance de carga y es transportado dentro de la planta con aniones tales como  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , fosfatos y ácidos orgánicos. Se necesita una cantidad considerable de potasio para la función de traslado para mantener la turgidez del árbol y para activar las enzimas. Se ha constatado que un buen suministro de K aumenta la resistencia del árbol a varios patógenos y que aumenta la resistencia del árbol a bajas temperaturas.

En la mayor parte de los suelos, los árboles forestales pueden obtener suficiente potasio para su crecimiento. Los suelos más propensos a tener deficiencias de K son los altamente lixiviados y ácidos. Se ha comprobado que hay una fuerte deficiencia de K en algunos suelos de los llanos. Los síntomas de deficiencia de K son generalmente la clorosis en la punta de las agujas y en los bordes de las hojas. En casos extremos de deficiencia puede ocurrir la muerte de algunas agujas (Will, 1978). Sin embargo, aparecen otros síntomas en algunas especies de árboles y la variedad en el color de un azul-verdoso pálido hasta un rojo fuerte. Por tanto, es necesario confirmar la deficiencia de K a través de un conocimiento detallado de la especie o a través de ensayos de fertilización con potasio.

### Calcio

Este elemento se absorbe en forma de  $Ca^{+2}$  pero a diferencia del magnesio es casi estático en el árbol. Se usa la mayor parte del calcio como integrante de los Ca-pectates los cuales están en el espacio intercelular y sirven como pegantes para mantener las células juntas. En el tejido leñoso esta función es tomada por la lignina pero en el follaje y los tejidos jóvenes, especialmente en los meristemas, el calcio es de suma importancia. es también necesario para la división mitótica de la célula. La deficiencia de calcio da como resultado tejidos retorcidos y deformes y puede ser responsable por el flujo de resina alrededor de los capullos en los pinos y la muerte de las yemas terminales (Will, 1978).

La deficiencia de Ca ocurre más frecuentemente en suelos altamente lixiviados y erodados. A menudo se sospecha esta deficiencia en suelos deficientes en fósforo. La suma de cualquiera de las fuentes de fósforo comunes, sin embargo, produce más calcio que fósforo. Por tanto, se ha recopilado poca información sobre este nutriente excepto en estudios de laboratorio e invernaderos. En los viveros cuando aumenta la acidez del suelo se le agregan cal ( $CaCO_3$ ) ó cal dolomítica ( $CaCO_3$  y  $MgCO_3$ ), para ajustar el pH del suelo. Esto también suministra Ca ó Ca más Mg, fortuitamente. Ha habido muy pocos informes sobre ejemplos de bosques con deficiencias de calcio.

### Magnesio

El magnesio es el único elemento mineral en la molécula clorofílica y es esencial para que la síntesis ocurra. También se necesita para muchas reacciones enzimáticas que incluyen ATP y realiza la función respiratoria de las enzimas y es crucial para la síntesis proteínica. Es más abundante dentro del árbol que el calcio. Los síntomas de deficiencia de magnesio son la aparición de un color dorado o amarillo oscuro, este color comienza a aparecer en las puntas de las agujas y en los bordes de las hojas y se va propagando hacia adentro. En las hojas de especies decoloradas a menudo aparece como clorosis invernal. La deficiencia de magnesio es más probable en suelos ácidos, arenosos y bajos en contenido de materia orgánica. Se encuentran niveles excesivos de de Mg en suelos serpentinos.

### Fósforo

El árbol toma el fósforo en una de dos formas inorgánicas. Estas son:  $H_2PO_4^-$  y  $HPO_4^{2-}$ . La acidez del suelo es el principal determinante de la forma; para  $H_2PO_4^-$  la acidez del suelo debe estar debajo del pH 7. Buena parte del fósforo en el suelo está presente en los compuestos de materia orgánica pero estos deben ser mineralizados por microorganismos para convertirlos en una orgánica para que el árbol los use. El fósforo es el segundo elemento más comúnmente deficiente después del nitrógeno en los suelos forestales. Se han encontrado varias áreas en Colombia que tienen deficiencia en fósforo para el crecimiento del árbol.

El papel más ampliamente reconocido del fósforo en la planta es en la función del sistema de suministro de energía de ADP-ATP. También se ha encontrado en los nucleótidos, ácidos nucleicos, en algunas proteínas, varias coenzimas, en los fosfolípidos de las membranas y se encuentra también incluido en varios azúcares que son importantes en la fotosíntesis y la respiración. También ambos fosfatos, los orgánicos y los inorgánicos, actúan como amortiguadores químicos en la célula para mantener un pH de valor constante.

La deficiencia de fósforo da como resultado un crecimiento lento en la mayor parte de las especies de los árboles. En algunos pinos el único síntoma de deficiencia obvia es el de agujas amarillentas cortas. Sin embargo, en otros pinos y especialmente en los eucaliptos la producción del pigmento antocianina se hace muy evidente y las hojas o agujas maduras se ponen bastante amarillentas. A los árboles que les falta una buena micorrización a menudo se les ponen las hojas amarillentas debido a la incapacidad de las raíces no micorrizadas de absorber el fósforo aún si hay suficiente en el suelo.

Las fuentes de fósforo para uso forestal incluyen el superfosfato común, el superfosfato triple y la roca fosfórica. La roca fosfórica se disuelve lentamente y solamente tiene un valor práctico en lugares donde el suelo es muy ácido (ejemplo, en los llanos). En estos suelos, sin embargo, evita al P fijarse como fosfato de Fe ó Al, pero su tasa de disponibilidad es tan baja que no hace un rápido suministro de P a los árboles recién plantados que se encuentran bajo una fuerte demanda de P. No obstante, suministrará una fuente de P para varios años. El superfosfato triple

suministrará azufre pero es más concentrado, es por esta razón que donde los costos de transporte son grandes, ésta es la forma más económica de obtenerlo.

### Azufre

La forma  $\text{SO}_4^{-2}$  es la más usada por todos los árboles. Es sumamente móvil en el suelo pero una vez metabolizada en el árbol se vuelve bastante inmóvil. Por tanto, la deficiencia de azufre se manifiesta en los tejidos nuevos. Dos vitaminas, una coenzima y tres aminoácidos contienen azufre. Es importante en la síntesis de proteínas. Estas formas orgánicas de azufre regresan al suelo cuando las hojas y las agujas caen. La principal reserva de azufre en el suelo está disponible nuevamente para que el árbol lo use después de que los microorganismos lo han sometido al proceso de mineralización. Es así, como a pesar del hecho de que  $\text{SO}_4^{-2}$  puede ser lixiviado fácilmente, en el suelo generalmente no se pierde.

Se han recibido informes en el sentido de que hay deficiencias de azufre en plantaciones de pinos en Australia y el sureste de los Estados Unidos. La deficiencia de azufre se ha vuelto muy común, también, en los suelos arenosos de los viveros desde la introducción del superfosfato triple, esta deficiencia se ha estado corrigiendo mediante el uso del sulfato de amoníaco como un fertilizante de nitrógeno. Tales fertilizaciones deben aplicarse en varias pequeñas dosis ya que  $\text{SO}_4^{-2}$  es fácilmente lixiviado por la lluvia o por el agua de riego.

## Funciones de los Micronutrientes

### Cloro

Aunque este micronutriente es obviamente esencial para el crecimiento del árbol, solamente se ha confirmado una función del cloro. Aumenta la tasa de la transferencia de electrones del agua a la clorofila durante la fotosíntesis. La formación de raicillas partidas en las puntas en plántulas deficientes en cloro sugiere que aún falta por descubrir otras funciones de este micronutriente. El  $\text{Cl}^-$  es absorbido del suelo y a pesar del hecho de que es uno de los micronutrientes más abundantes en el árbol, la necesidad absoluta del mismo en el árbol es muy pequeña. No se han recibido informes concretos sobre deficiencias de Cl en los bosques.

### Hierro

Los árboles que presentan deficiencia de hierro son bastante comunes pero la deficiencia está más fuertemente relacionada con especies de árboles o con la edad, que con la falta de este elemento en el suelo. La acidez del suelo también afecta la disponibilidad del hierro fuertemente. Un caso extremo de deficiencia de hierro ha ocurrido en un vivero forestal en Colombia donde se cultiva el *Pinus caribaea* en bolsas plásticas en suelos que estaban por encima del pH 8.2. La deficiencia fué mejorada cambiando el suelo para que tuviera un pH 5.3. Debido a que el hierro es un micronutriente, es posible aplicarlo al follaje de las plántulas como compuestos orgánicos complejos llamados quelatos y con estos, rápida y económicamente se pueden corregir las

deficiencias menores de hierro. El hierro es muy inmóvil en el árbol, por tanto, es el follaje nuevo el que muestra síntomas de deficiencia de clorosis. Es esencial en la fotosíntesis, respiración y en el metabolismo del nitrógeno y cataliza la conversión de los peróxidos tóxicos en el agua y en el O<sub>2</sub>.

Afortunadamente a excepción de aquellas especies que están genéticamente predispuestas a la deficiencia de hierro, se ha sabido de muy poca deficiencia de hierro en árboles forestales que vaya más allá de la etapa de la plántula, excepto en lugares donde se han plantado mal o en suelos calcáreos con altos valores de pH.

### Boro

De los elementos menores el boro es el que más comúnmente está en deficiencia en los suelos forestales (Stone, 1968). Es especialmente probable que haya deficiencia de boro en los suelos derivados de ceniza volcánica tales como los suelos de los Andes en los departamentos del Valle y Cauca y en los suelos ácidos con bajo contenido de materia orgánica.

Uno de los primeros resultados de deficiencia de boro es la cesación de crecimiento de las puntas de las raíces. A esto se sigue el daño y a menudo la muerte de los meristemas apicales y también se pone marrón la médula cerca del meristema.

Esto lleva el agrupamiento de los nuevos capullos y la iniciación de muchas ramas. Estos pueden a su vez morir y el proceso se repite. La mayor parte del boro en el suelo está presente en la materia orgánica y se vuelve asequible para su absorción solamente a medida que los microorganismos lo mineralizan (Turner, 1980). Por tanto, la sequía baja la disponibilidad de boro en el suelo y naturalmente la lluvia aumenta esta disponibilidad. Este nivel variante de la disponibilidad de boro puede verse en muchos eucaliptos. Muestran patrones variables de crecimiento casi normal seguidos por el secamiento descendente y deformaciones en su crecimiento. Esta clase de crecimiento puede prevenirse pero no puede corregirse. Por tanto, es importante suministrar suficiente boro a los suelos que presentan deficiencias de este elemento lo más pronto posible después de plantados los árboles. La disponibilidad de boro está positivamente correlacionada con el contenido de materia orgánica del suelo y negativamente correlacionada con el valor del pH del suelo, especialmente sobre el pH 6 (Turner, 1980). El boro es aparentemente el único elemento nutriente que se toma del suelo en forma no disociada. Es tomado directamente como H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, (Oertli y Gregurevic, 1975).

De los pinos que actualmente se están plantando en Colombia, el *P. kesiya* y el *P. patula* son los que más toleran el bajo nivel de boro en el suelo. Desafortunadamente, la mayor parte de los pastos son aún más tolerantes al bajo contenido de boro en el suelo y es por esto que pueden competir muy fuertemente con casi cualquier árbol joven en estos suelos. La aplicación de boro cerca de las plántulas puede invertir la situación.

Además de que el boro es necesario para el crecimiento de nuevas células en las regiones

En las plantas, el boro es necesario para la síntesis proteínica, para la polinización, y el crecimiento de los carbohidratos y para el metabolismo (Gauch, 1972); es por ésta última razón que las hojas de las especies latifoliadas que tienen una deficiencia de boro se engrosan y se encrespan a medida que los carbohidratos se acumulan en ellos.

Es difícil determinar la concentración óptima de boro para el follaje debido a que la cantidad que requiere está positivamente relacionada con la absorción de Ca y K (Turner, 1980). Es así que la aplicación de fósforo (todas las fuentes del mismo contienen mucho Ca) ó de K pueden agravar el estado marginal del boro en el árbol. La corrección de una deficiencia puede fácilmente intensificar la deficiencia de otro elemento.

### Manganeso

La mayor parte de los árboles toleran amplios rangos en el nivel de manganeso en sus tejidos. Sin embargo, se ha sabido de deficiencias y de toxicidad por manganeso en los árboles. La tasa de acumulación de manganeso depende fuertemente de la especie de árbol, por ejemplo, dos árboles de diferentes especies en el mismo suelo pueden variar hasta diez veces en su acumulación. La deficiencia de Mn causa una clorosis que es entre el amarillo claro de la deficiencia de Fe y el amarillo dorado que se encuentra en la deficiencia de Mg; en las hojas de especies latifoliadas a menudo se ven rayas verdes. La fotosíntesis, la respiración, la síntesis de ácidos grasos y la síntesis de nucleótidos son activados por el Mn. La disponibilidad de manganeso está relacionada directamente con la acidez del suelo (se relaciona inversamente al valor del pH). Por tanto, la aplicación de cal a los suelos de los viveros ha inducido una deficiencia de Mn. En el bosque, rara vez se encuentra deficiencia de Mn.

En

En las plántulas, la deficiencia de zinc se asemeja a la de boro. En los árboles de mayor edad la deficiencia da como resultado un color bronceado en las hojas tiernas de las especies latifoliadas, y en los pinos se presenta la clorosis y enanismo en las agujas. El zinc activa varias enzimas en el árbol. En los bosques nativos casi nunca hay deficiencia de Zn, pero en las plantaciones de especies introducidas se han mostrado deficiencias en algunas localidades incluyendo Colombia. Es más probable encontrar deficiencias en sitios donde los suelos son arenosos, arcillosos, lixiviados y ultisoles ácidos, los cuales son típicos en gran parte en los llanos. Los suelos con niveles altos de P pueden inducir la deficiencia de Zn. Generalmente, este es el resultado de la acción del hombre al excederse en la fertilización con P en los viveros.

En

En las plántulas, la deficiencia de cobre puede detectarse por la caída de las hojas, en los árboles de mayor tamaño las ramas se torcen y caen. Las yemas terminales de las coníferas pueden verse torcidas. El cobre es esencial para la fotosíntesis, la respiración y la formación de, por lo menos, una hormona. La deficiencia de cobre es más común en los suelos orgánicos tal como

la turba, pero también se ha visto en suelos arenosos. A excepción de algunos lugares aislados, la deficiencia de cobre no es un problema forestal.

### Molibdeno

De los nutrientes que el árbol necesita, el molibdeno es el que se requiere en menores cantidades. Su única función conocida es la de la reducción del nitrato. Los microbios que fijan N requieren de cantidades ligeramente mayores dentro y sobre el suelo y en los nódulos de las leguminosas y plantas actinorizales. También debe anotarse que los organismos de fijado de N también requieren cobalto (Co). Por tanto, como su actividad es esencial para suministrar la mayor parte de N utilizado por los árboles forestales, se podría argumentar que el Co es por lo menos necesario para el crecimiento del árbol. Sin embargo, no se ha visto que los árboles mismos necesiten Co.

### **Resumen**

En este resumen del papel de los 16 elementos que se conocen como esenciales para el crecimiento de los árboles, hemos tratado de lograr tres cosas. Primero se ha tratado de revisar los factores de clima y suelo que son importantes para el suministro de los diferentes elementos. Luego, se han descrito las funciones de los elementos, ambos los componentes y los reguladores metabólicos en los árboles y los síntomas producidos por la deficiencia de los mismos. Finalmente, y quizás el paso más importante, se ha tratado de hacer hincapié en aquellos elementos y suelos que más posiblemente pueden causar problemas al ingeniero forestal en Colombia.



REFERENCIAS

1. Gauch, H.G. 1972. Inorganic Plant Nutrition. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsburg, PA, USA.
2. Ingestad, T. 1977. Nitrogen and plant growth: Maximum efficiency of nitrogen fertilizers. *Ambio* 6(2-3): 146-151.
3. Ingestad, T. 1979. Mineral nutrient requirements of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings. *Physiologia Plantarum* 45: 373-380.
4. Lavender, D.P. and R. B. Walker. 1979. Nitrogen and related elements in nutrition of forest trees. In: S.P. Gessel, R.M. Kenady, and W.A. Atkinson (eds.). Proceedings of the Forest Fertilization Conference. Institute for Forest Research, Contribution No. 40. University of Washington, Seattle, WA. USA. p. 15-22.
5. Liegel, L.H. 1981. Seasonal nutrition of 3 and 4 year old *Pinus caribaea* foxtails and normal branched trees in Puerto Rico. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh, N.C., U.S.A. 140 p.
6. Oertli, J.J. and E. Gregurevic. 1975. Effect of pH on absorption of boron by excised barley roots. *Agronomy Journal* 67: 278-280.
7. Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1978. Plant Physiology second edition. Wadsworth Publishing Co. Belmont, Ca, U.S.A.
8. Stone, E.L. 1968. Micronutrient nutrition of forest trees: a review. In: Forest Fertilization Theory and Practice. TVA, Muscle Shoals, AL, USA. p. 132-175.
9. Turner, J. 1980. Boron: a major micronutrient. *Farm Chemicals*, Feb., 1980: 36-40.
10. Will, G.M. 1978. Nutrient deficiencies in *Pinus radiata* in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 8: 4-14.

---

## ELABORACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS FERTILIZANTES ÚTILES EN EL CAMPO FORESTAL

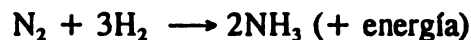
Philip G. Cannon\*

### INTRODUCCIÓN

El uso efectivo y económico de los fertilizantes en el campo forestal depende en gran parte de un buen conocimiento de sus propiedades, las cuales están determinadas por el proceso de fabricación y por la materia prima utilizada. Debido a la importancia primordial de los elementos nitrógeno, fósforo y boro en la zona andina, se concentrará la discusión en dichos elementos y en la Tabla 2 se hace un resumen de los fertilizantes discutidos.

#### Nitrógeno

El amoníaco, una materia prima importante para la industria de fertilizantes, es producido mediante la combinación del nitrógeno y del hidrógeno de la atmósfera en una reacción exotérmica:

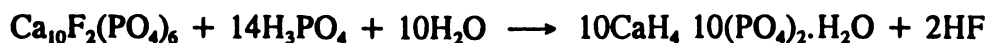


En la elaboración de urea se agrega el gas de  $\text{CO}_2$  al amoníaco bajo presión formando así urea líquida, lo cual se concentra mediante la evaporación del exceso de agua. En una torre de 56 metros de altura la solución concentrada de urea se bombea a través de aspersores, formando un rocío de gotas finas las cuales se convierten en gránulos de urea de 46% a 48% de nitrógeno al pasar dentro de la torre. El amoníaco nítrico también se produce de modo similar agregando amoníaco al ácido nítrico y los gránulos formados por ese proceso contienen 36% de nitrógeno.

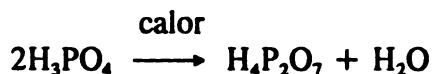
En ensayos comparativos de fertilización forestal con la urea y el amoníaco nítrico llevados a cabo en los Estados Unidos, no se registraron diferencias significativas en las respuestas de los árboles a los dos compuestos. Entonces, el menor costo por unidad de nitrógeno en la urea debido a su mayor concentración favorece este fertilizante sobre el otro.

Algunos fertilizantes son higroscópicos por lo cual deben mantenerse secos en almacenaje. Además, el amoníaco nítrico tiene como grave inconveniente de ser explosivo, razón por la cual fue utilizado como sustituto de la dinamita durante la Segunda Guerra Mundial. En 1978 hubo una explosión en una fábrica de fertilizantes en Barranquilla que resultó en la muerte de cinco personas.

resulta en toda variedad de fertilizantes sólidos entre los cuales el más común es el superfosfato triple. La reacción química de la formación de este producto es la siguiente:



Además el ácido fosfórico puede convertirse en ácido ortofosfórico ( $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) ó en ácido polifosfórico ( $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) a mayores temperaturas y por modificar las condiciones de reacción en la torre de rocío:



Mezclando tres partes de ácido ortofosfórico con una parte de ácido polifosfórico se fabrica el ácido superfosfórico el cual reacciona con la roca fosfórica para producir el superfosfato concentrado sólido con 74% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Este último producto se combina con compuestos de nitrógeno y potasio para producir los fertilizantes comerciales tales como 13-26-0, 13-39-0, 12-24-12, y 10-30-10 entre otros.

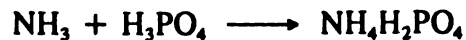
Una fuente colombiana de fósforo que merece una consideración especial es el calfos ó escorias tomas el cual es un subproducto de la industria siderúrgica. La presencia del fósforo en el proceso de fundación disminuye la resistencia del hierro y portanto se extrae en el proceso por mezclar la cal con el hierro mineral, llevándolos a la temperatura de fusión donde los ácidos contaminantes, incluyendo el ácido fosfórico, forman vínculos con la cal. Desde que los compuestos de cal son menos densos que los compuestos de hierro, se hace la separación de los dos gravimétricamente. Al enfriarse, los compuestos líquidos de cal forman sólidos de escorias que posteriormente son molidos para producir el calfos. En la fábrica de Paz del Río el calfos contiene aproximadamente 14% de fosfato ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) y 70% de neutralizante en la forma de cal.

Otro fertilizante que puede tener una gran utilidad es la roca fosfórica parcialmente acidulada, donde se le agrega a la roca el ácido sulfúrico o ácido fosfórico en cantidades suficientes para convertir en forma soluble en agua del 25 al 40% del fósforo total. Teóricamente este producto sería ideal ya que contiene fósforo en dos formas, muy soluble y lentamente soluble. Sin embargo, en la práctica este fertilizante ha mostrado tener poca capacidad de dispersión en el suelo (Bengston, 1973), lo cual limita su utilidad para plantas en el suelo. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en su programa de fósforo está llevando a cabo investigaciones sobre el posible uso de este producto.

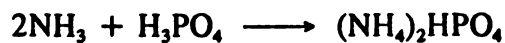
### Fertilizantes Complejos

Típicamente los fertilizantes multinutrientes se fabrican al mezclar amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) con el ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) y con el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). La concentración del fertilizante específico, bien sea 16-20-0, 15-30-0 ó 13-52-0 entre otros, se fija por variar las proporciones de los respectivos ingredientes. Por ejemplo, se produce el fosfato monoamoníaco en la siguiente

manera:



La elaboración del fosfato diamoníaco es similar pero la proporción de amoníaco es más alta:



El fosfato diamónico es poco estable a temperaturas superiores a 150 °C e históricamente ésta es la causa principal de su lenta producción y alto costo en comparación con el fosfato monoamónico que queda estable con temperaturas mucho más altas. Recientemente se ha desarrollado una nueva técnica para la elaboración del fosfato diamónico en gránulos que ha eliminado ese problema.

Los fertilizantes de NPK que se encuentran en el mercado colombiano en cantidades inferiores a 50 toneladas son derivados del fosfato monoamónico o fosfato diamoníaco, los cuales son importados de los Estados Unidos en la actualidad. El tipo de fertilizante compuesto deseado se produce al variar las proporciones de los diferentes productos bases y al modificarlos en el proceso fosforítico (Figura 5).

Una fuente del potasio que se encuentra en los fertilizantes multinutrientes a menudo es el cloruro de potasio (KCl) pero también se utiliza el nitrato de potasio en ciertas mezclas. Los compuestos de potasio utilizados son altamente solubles en agua.

En lugares donde la capacidad de producción de fertilizantes es limitada, existe otra opción para obtener los varios fertilizantes multinutrientes. La técnica es la mezclar los varios elementos en bulto (bulk blending) tales como el nitrato de amonio, el superfosfato y el cloruro de potasio, en las proporciones deseadas. Con la técnica de mezcla en bulto, es de suma importancia que todos los elementos tengan gránulos del mismo tamaño a fin de evitar problemas de segregación en la mezcla (Figura 6).

**BORO**

Una fuente mayor de boro para uso forestal en Colombia ha sido el bórax o tetraborato de sodio decahidratado ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) lo cual es un sólido blanco de alta solubilidad. Los depósitos de bórax se localizan principalmente en las zonas áridas del mundo pero no existen depósitos importantes de este mineral en Colombia. Debido a su alta solubilidad en el suelo se pierde rápidamente en el campo por la lixiviación. Además, el bórax es tóxico a las plantas en concentraciones altas.

Una fuente de bórax que es menos soluble y dura más tiempo después de aplicarlo ha sido desarrollado recientemente y se llama el boro en vidrio ó "frit" de boro. Para fabricarlo se mezcla el boro con los componentes de vidrio en horno a 1000 grados centígrados donde la

mezcla queda completamente fundida. El producto resultante se enfría rápidamente en agua y, al secarse, se muele formando así gránulos finos de vidrio con el boro atrapado. Además de boro el proceso de "frit" se utiliza con otros micronutrientes con éxito.

### **Disponibilidad de Fertilizantes en el Futuro**

A nivel mundial existen suficientes depósitos de fosfatos para abastecer la demanda durante mucho tiempo (Bengston, 1979). Actualmente existen a nivel global 55 mil millones de toneladas de fosfatos que podrían ser explotadas rentablemente (Jones, 1979). Las reservas principales están ubicadas en el África, los Estados Unidos, la Unión Soviética y en Europa. En Colombia en los últimos años se han descubierto depósitos interesantes en el Huila y en Boyacá, los cuales se están investigando para sus posibles usos, particularmente por el CIAT. Desafortunadamente, la solubilidad del fosfato en estos depósitos es muy baja, la cual limita su uso directo como fertilizante. Todavía el país continúa importando la mayoría de la roca fosfórica de los Estados Unidos.

La elaboración de los fertilizantes con nitrógeno requiere, además del nitrógeno de la atmósfera, lo cual representa el 78% del aire, el consumo de gas natural o carbón, los cuales son recursos naturales limitados en ciertas partes del mundo. Colombia afortunadamente posee todavía extensas reservas de los dos (Waggoner y Spickard, 1974).

En cuanto a la roca cal, hay grandes reservas para el futuro en Boyacá y en el Valle y su preparación industrial consiste, básicamente, en molerla.

Los depósitos de boro están ubicados en las zonas áridas y los principales se encuentran en los Estados Unidos, Sri Lanka, India y Tibet. Hasta ahora, no se han descubierto depósitos importantes en Colombia y será necesario continuar con su importación.

### **Producción de Fertilizantes en Colombia**

La compañía Abocol produce fosfatos nítricos utilizando el proceso representado en la Figura 5 y Ferticol produce el amoníaco nítrico y la urea. Monómeros produce varios grados de fertilizantes multinutrientes NPK y el sulfato de amonio. También hay un número de compañías que producen fertilizantes por medio de la mezcla en bulto o "bulk blending" (Figura 6). Calfos ó escorias tómas es un subproducto de la industria siderúrgica de Paz del Río y en Huila y Boyacá hay explotaciones de roca fosfórica.

**FIGURA 5**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES NPK EN ABOCOL**  
**USANDO EL PROCESO FOSFONÍTRICO (Según René Zuñiga)**

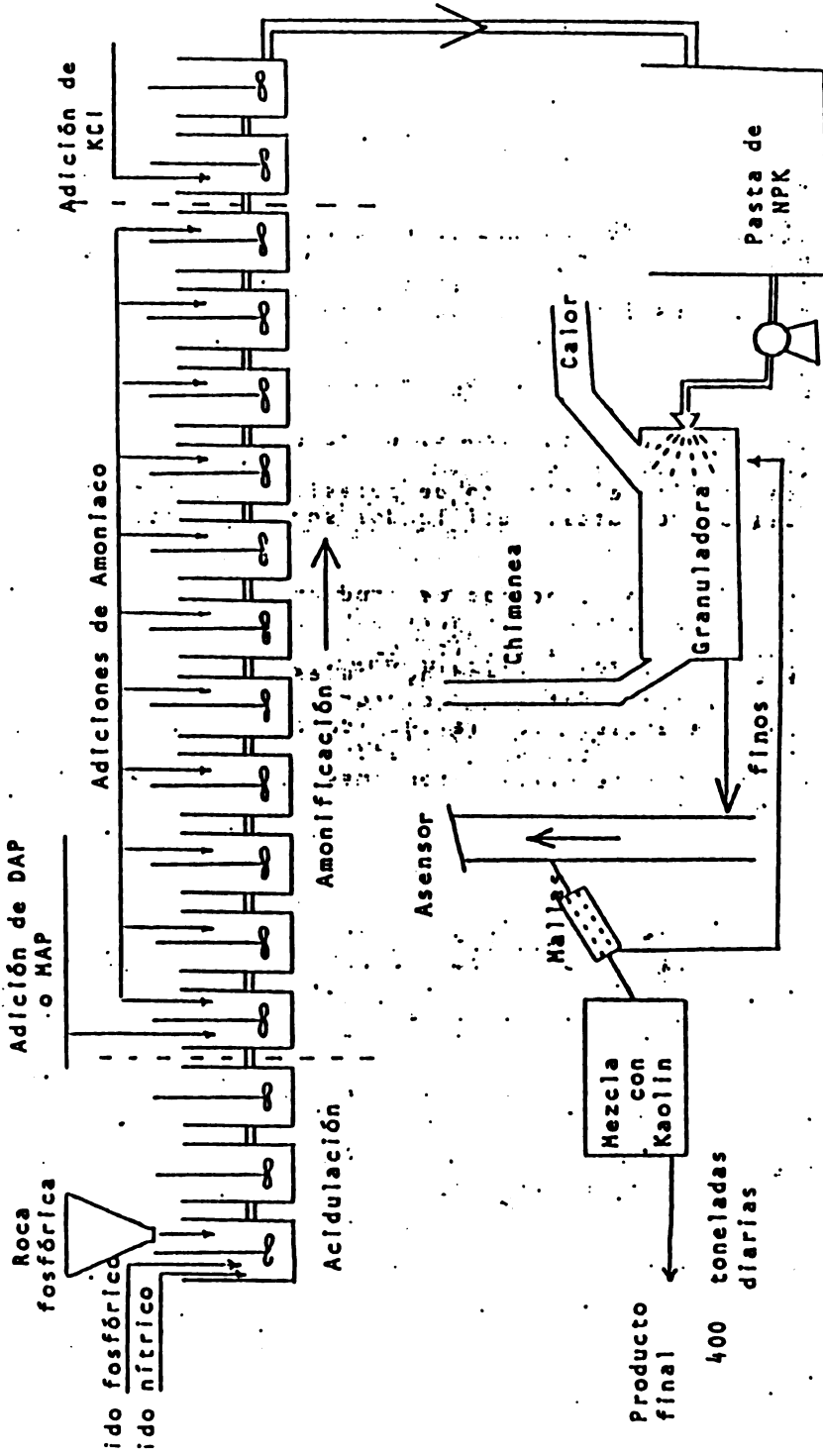
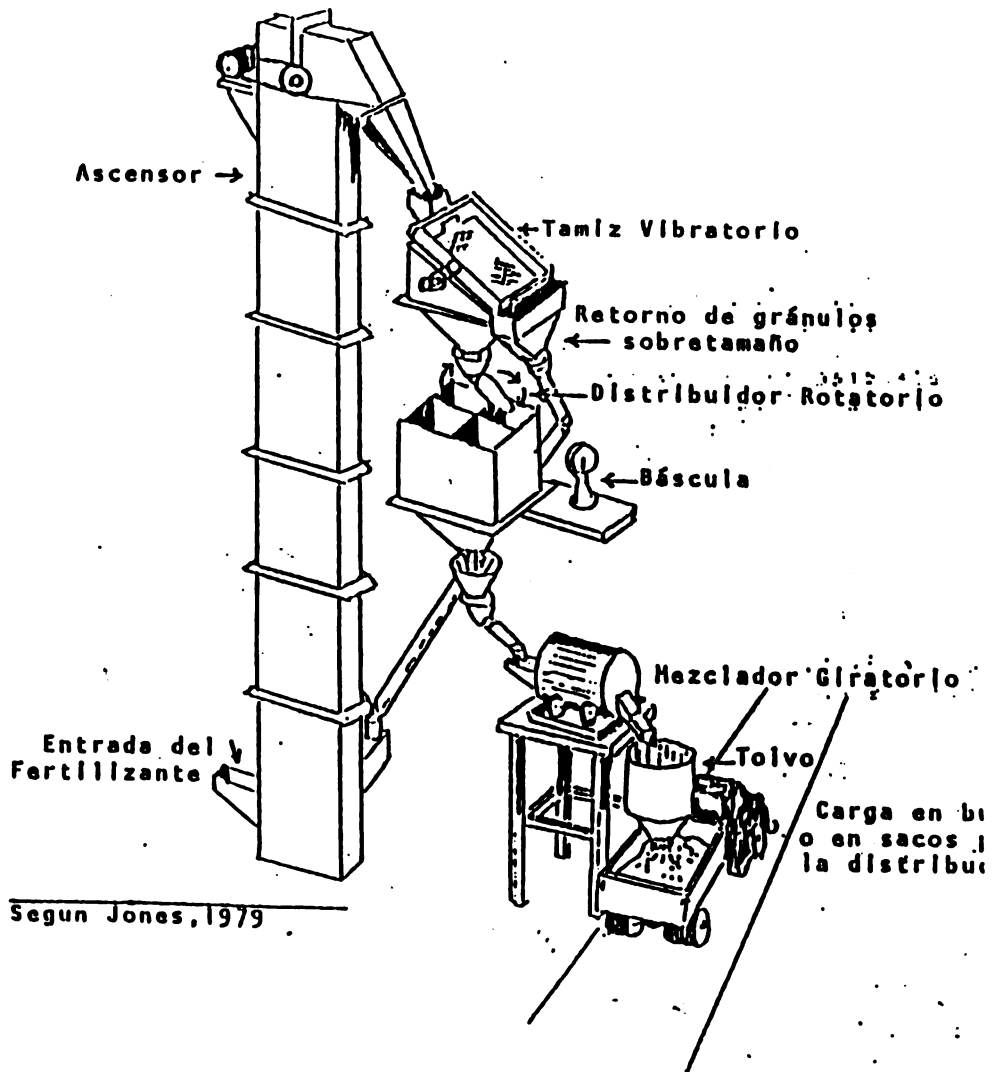


FIGURA 6

UN SISTEMA DE MEZCLA EN BULTO DE LOS  
FERTILIZANTES MULTINUTRIENTES





VENTAS

MOLINOS

INGENIE-  
RIA

INVESTI  
GACION



---

**REFERENCIAS**

- Bengston, G.W. 1973. Fertilizer use in forestry: materials and methods of application. Proc. FAO/IUFRO International Symposium on Fertilization. Paris. p. 97-153.
- Engelstad, O.P. and G.I. Terman. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In F.E. Khasawneh et al. (eds.) The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA/CSSA/SSSA. p. 311-332.
- Jones, U.S. 1979. Fertilizers and soil fertility. Reston Publ. Co., Reston, Virginia (E.U.). 368 p.
- Pritchett, W.L. 1979. Properties and management of forest soils. John Wiley and Sons. New York. 500 p.
- Waggoner, D.R. y G. M. Spickard. 1974. Engineering evaluation of selected segments of the Colombian fertilizer industry. TVA, Muscle Shoals, Alabama (E.U.). Rep. No. 01-74.

---

## CICLO DE NUTRIENTES EN PLANTACIONES

Philip G. Cannon\*

### INTRODUCCIÓN

Una característica del suelo forestal es el desarrollo de una capa de materia orgánica compuesta de follaje, ramas y, a veces, árboles caídos (Pritchett, 1979). Cuando este material arrojado por el bosque se descompone, muchos nutrientes son liberados y reciclados en los árboles de nuevo. Otros nutrientes utilizados provienen de la atmósfera, de la fijación biológica y también de la descomposición de la roca madre y otros materiales geológicos. Por otro lado, los nutrientes se pierden del ecosistema forestal debido a factores como la lixiviación, la escorrentia pluviométrica, la quema y la cosecha (Figura 24).

El uso racional de los fertilizantes depende del buen entendimiento de este ciclaje. Es importante saber cuáles nutrientes se reciclan rápidamente y retornan al árbol y cuáles son inmóviles en el sistema.

#### Suministros Geoquímicos de Nutrientes

La cantidad de nutrientes que provienen de la precipitación pluviométrica varía de lugar a lugar. No obstante, después de evaluar numerosos estudios realizados por varios investigadores, Pritchett (1979) se determinó, que, en el mundo entero en promedio, los siguientes elementos fueron suministrados al suelo por la lluvia (Kg/ha/año): N, 0.3; P, 3.2; K, 8.0 y Ca, 2.8 y Mg, 2.8.

Los microorganismos que fijan el nitrógeno de la atmósfera y lo convierten en una forma asimilable por los árboles son uno de los mecanismos más importantes en el aporte de este elemento al bosque. Los microorganismos tales como la bacteria *Rhizobium* y la actinomiceta *Frankia* forman relaciones simbióticas con los árboles. Los nódulos formados en las raíces de *Alnus glutinosa* fijan 56 kilogramos de nitrógeno por hectárea por año. Otros microorganismos no-simbióticos fijan poca cantidad de nitrógeno en plantaciones forestales pero bajo circunstancias especiales, tales como después de un incendio ó después de una tala rasa, se aumenta la fijación sustancialmente (Pritchett, 1979).

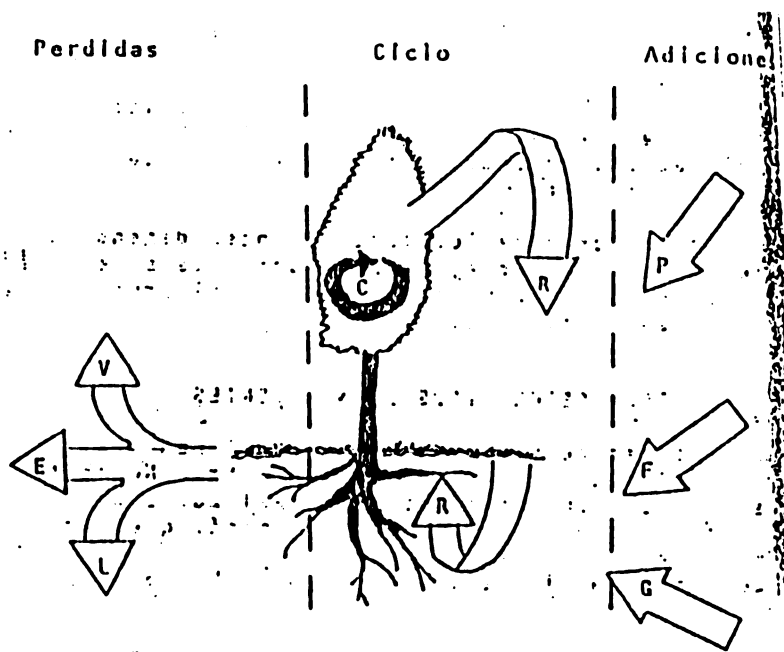
La descomposición de materiales geológicos es otra fuente de nutrientes. Aunque no es un mecanismo importante para el aporte de nitrógeno ni para el calcio, ni el magnesio en suelos volcánicos, si es para el fósforo y el potasio intercambiable (Knight y Will, 1970). No obstante,

---

\* Doctor, Líder Proyecto MADELEÑA 3, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

La mayoría de fósforo liberado forma complejos con la alófana por lo cual es poco disponible para el árbol (Knight y Will, 1970). La ceniza andesítica y la roca diabasa, común en las zonas forestales del Valle y Cauca, son ricas en los micronutrientes  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  y  $Zn^{+2}$ , pero son pobres en elementos  $Mo^{+6}$  y  $B^{+3}$  (Krauskopf, 1972).

**FIGURA 24**  
**Ciclaje de Nutrientes en un Ecosistema Forestal**



- Donde:
- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| P = Precipitación                       | V = Volatilización al aire  |
| F = Fijación de Nitrógeno al aire       | E = Escorrentía             |
| G = Descomposición Geológica            | L = Lixiviación en el suelo |
| C = Ciclaje dentro del árbol            |                             |
| R = Reciclaje entre el árbol y el suelo |                             |

### Pérdidas Geoquímicas de Nutrientes

Las pérdidas de nutrientes por medio de la lixiviación no son importantes en general (Pritchett, 1979). Debajo de plantaciones de *Pinus radiata* en suelos volcánicos de Nueva Zelanda las pérdidas debidas a la lixiviación fueron (en kilogramos/ha/año): Si-39, Na-12.5, Ca-12.5, Cl-5.6, K-4.2, Mg-1.6, P-menos de 0.01 y sin pérdidas de nitrógeno inorgánico (Knight y Will, 1970).

Las reacciones químicas que fomentan la volatilización de nitrógeno son poco favorecidas en

suelos de un pH menor que 5.5 (Pritchett, 1979), lo cual comprende el 90% de los suelos forestales en el Valle y Cauca. Por otro lado, las pérdidas debido al incendio pueden alcanzar a 240 Kg N/ha y debido a la quema controlada en 80 Kg N/ha (Pritchett, 1979).

### Ciclaje Biológico

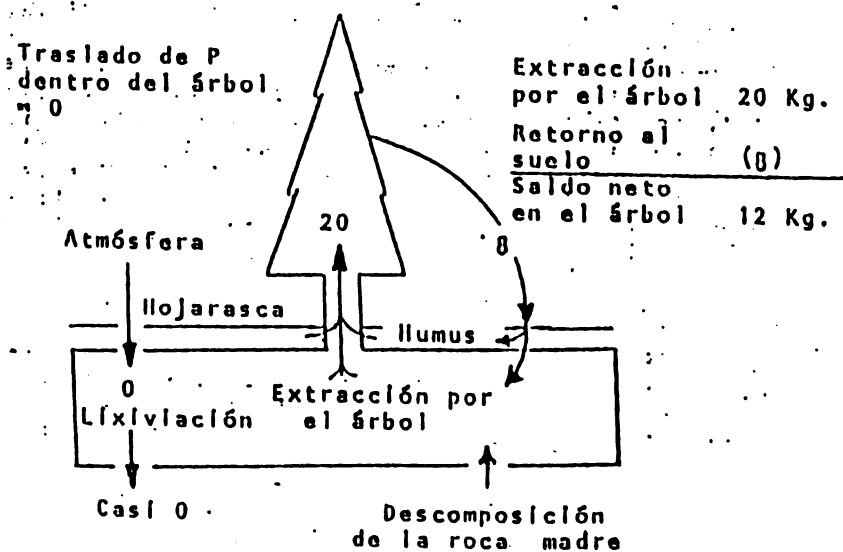
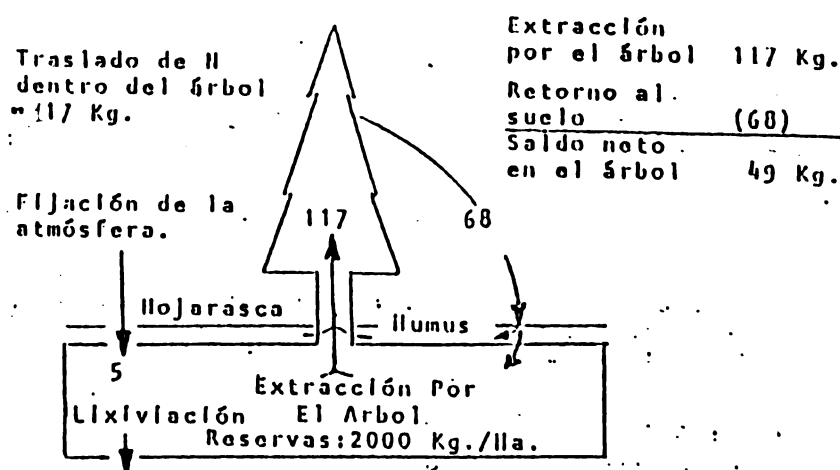
El ciclaje biológico consiste en el traslado de nutrientes dentro del árbol, por ejemplo, del follaje viejo al follaje joven, y también entre el árbol y el suelo (Figura 25), este último siendo el tema de discusión a continuación.

La mayoría de los nutrientes en plantaciones jóvenes vienen del suelo mineral o de fertilizantes aplicados. Según Wells y Jorgensen (1975), la extracción de macronutrientes de los 50 primeros centímetros de suelo debajo de plantaciones de *Pinus taeda* de 5 a 15 años de edad es entre 5 y 15% en los Estados Unidos. La extracción de los nutrientes del suelo comienza a aumentar apreciablemente cuando el dosel se cierra a los 4 a 6 años en coníferas y 1 a 3 años en eucaliptos. Gran parte de los nutrientes móviles, tales como el nitrógeno y el potasio, se trasladan de las hojas maduras a las hojas jóvenes y también se lavan fácilmente y regresan al suelo donde son asimilados fácilmente por las raíces. En este mismo período el follaje viejo cae al suelo en grandes cantidades (Figura 25). En las plantaciones de pinos de ocho años de edad en el Cauca es común tener colchones de follaje acumulado en el suelo de 6 a 10 centímetros de profundidad. Con la descomposición de esta hojarasca y su mineralización a formas asimilables para el árbol, los nutrientes con nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales son absorbidos por el árbol de nuevo. Este ciclaje es importante en la vida de la plantación porque las necesidades de nutrientes aumentan con la edad (Figura 26).

En plantaciones de *Pinus radiata* en Nueva Zelandia con suelos volcánicos, se ha estudiado el movimiento de nutrientes entre la hojarasca y el humus en el suelo, lo cual indica la tasa de mineralización del follaje caído y entonces su tasa de ciclaje (Tabla 11). El movimiento relativo de los elementos estudiados fué, en orden descendente: K, B, Mn, P, Mg, Ca, Zn, Cu (Ballard y Will, 1981).

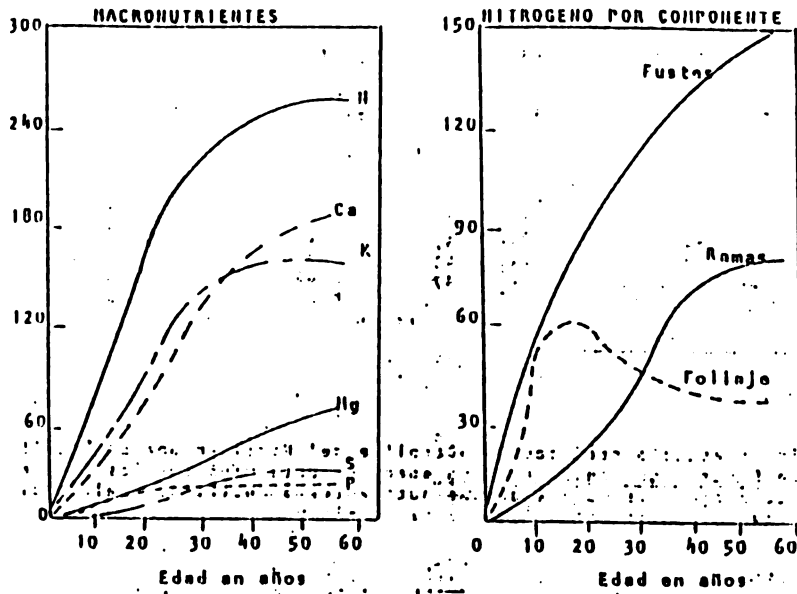
Una vez que la plantación alcanza a formar el colchón de hojarasca y una capa de humus, entonces los nutrientes entran a un ciclo donde los elementos arrojados por el árbol se mineralizan en el humus y vuelven a ser absorbidos por los árboles de tal manera que la extracción de nutrientes del suelo mineral es mínimo. Además, el peso de materia orgánica en la hojarasca y su contenido de nutrientes se correlacionan directamente con el área basal del bosque (McNeil, 1983).

FIGURA 25  
Ciclaje de Nitrógeno y Fósforo entre el Árbol y el Suelo\*\*



\*\* Datos de *Pinus taeda* de 16 años de edad en el sur de los Estados Unidos, según Wells y Jorgensen (1975). Valores en kilogramos/ha/año.

**FIGURA 26**  
**Acumulación de Macronutrientes en el Árbol\*\*\***



\*\*\* Datos de *Pinus taeda* en el sur de los Estados Unidos según Switzer et al. (1968).

**TABLA 11**  
**Relación de Nutrientes en la Hojarasca y el Humus Debajo de una Plantación de *Pinus radiata* de 16 años<sup>1</sup>**

ELEMENTO	HOJARASCA Kg/ha	HUMUS Kg/ha	RELACIÓN Hoja/Humus
M.O. (seca)	5813	37,979	0.15
N	67	414	0.16
P	6	28	0.22
K	13	15	0.91
Ca	26	124	0.21
Mg	5	24	0.22
B	0.06	0.22	0.27
Zn	0.37	1.82	0.20
Cu	0.40	2.01	0.20
Mn	4.57	18.2	0.25

<sup>1</sup> Ballard y Will (1981)

En un estudio realizado en Carolina del Norte en una plantación de *Pinus taeda* de 20 años de edad, se determinó que los árboles recibieron más de 98% de sus nutrientes directamente del humus y la hojarasca, más bien que del suelo mineral (Tabla 12). Es decir, la especie que arroja la hojarasca más temprano en la vida de la plantación y en mayores cantidades es la especie que puede recuperar y estabilizar el suelo más pronto, este aspecto es de suma importancia en suelos marginados por la agricultura y especialmente para los suelos erodados que ya no tienen esta capa de materia orgánica. Suele observarse que los pinos en general tienen una alta capacidad de formar esta hojarasca.

**TABLA 12**  
**Suministro Relativo de Nutrientes de Cinco Fuentes en**  
**una Plantación de *Pinus taeda* de 20 Años de Edad<sup>1</sup>**

FUENTE	% N	% P	% K	% Ca
Hojarasca y Humus	40	23	16	54
Precipitación	5	9	50	24
Lixiviación de la Copa	16	6	12	39
Traslado Interno en el Árbol	39	60	22	0
Suelo Mineral	0	2	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup> Información suministrada por el Dr. Russell Ballard, Weyerhaeuser Timber Co., Washington, D.C.

En el altiplano de Popayán se llevó a cabo un muestreo preliminar de la materia orgánica debajo de plantaciones entre 9 y 12 años de las cuatro especies principales y se encontró que la deposición de hojarasca fué mucho mayor para *Pinus kesiya* que en las otras especies muestreadas (Tabla 13). Esto significa que *P. kesiya* es más eficiente en extraer nutrientes del suelo al principio y que recicla los nutrientes más rápidamente. El hecho de que el ciprés funciona con endomicorriza al contrario de los pinos que forman asociaciones de ectomicorriza, puede explicar en parte su tasa más baja de reciclaje de materia orgánica y nutrientes.

TABLA 13

Peso de la Materia Orgánica en la Hojarasca Debajo de Plantaciones de Cuatro Especies de Coníferas en el Altiplano de Popayán<sup>1</sup>

ESPECIE	MATERIA ORGÁNICA <sup>2</sup> Kg/ha
<i>Pinus kesiya</i>	3352
<i>Pinus patula</i>	2090
<i>Pinus oocarpa</i>	1888
<i>Cupressus lusitanica</i>	1590

1 Promedio de varias plantaciones de entre 9 y 12 años de edad.

2 Peso seco.

El ciclaje de nutrientes en plantaciones de eucaliptos ha sido poco estudiado pero en general arrojan la hojarasca con más alto contenido de nutrientes, especialmente las bases, que los pinos (Esparcia, 1980; Haag, 1980). Con una proporción más alta de bases se puede esperar que la mineralización de la hojarasca en rodales de eucalipto sea más rápida que en los de pinos. Los requerimientos nutricionales de los eucaliptos son máximos antes de los ocho años en el Brasil (Bellote et al., en prensa). A esa edad la proporción de nutrientes en la corteza del fuste es menor para el eucalipto (32%) que para el pino (48%) (Crane y Raison, 1980).

### Implicaciones Silviculturales del Ciclaje de Nutrientes

Hay varias actividades silviculturales que influyen sustantivamente en el ciclo de nutrientes incluyendo: 1) La selección de especies, 2) La preparación del sitio, 3) La aplicación de fertilizantes al momento de la plantación, 4) La aplicación repetida de fertilizantes durante el turno, 5) Las entresacas y 6) El método de cosecha, entre otras.

### Selección de Especies

Al escoger la especie para plantar hay que pensar en no solamente su crecimiento inicial sino también en la tasa de crecimiento durante el turno entero. Un ciclaje intenso de nutrientes puede aumentar la tasa de crecimiento durante el transcurso del turno. Viene al caso mencionar el *Pinus kesiya* en el altiplano del Cauca que a los diez años continúa aumentando en su tasa de crecimiento mientras que el ciprés ya está en descenso (Ladrach, 1982). El *P. kesiya* tiene la mayor producción de hojarasca y por tanto el mayor ciclaje de nutrientes (Tabla 13).



### Preparación de Sitio

Al preparar el terreno para la reforestación, siempre es importante utilizar métodos que conservan la materia orgánica en la superficie del suelo. En los suelos volcánicos (Andept) el horizonte superficial puede tener 16% de materia orgánica mientras que el subsuelo tiene apenas 0.1%. En una plantación de *Pinus oocarpa* de ocho años en la finca Chupillauta (Popayán), los árboles en suelo con una capa orgánica normal tenían 0.28 m<sup>3</sup>/árbol en promedio. En un sitio adyacente donde esa capa fue removida el volumen fue apenas 0.07 m<sup>3</sup>/árbol, el follaje es amarillento y hay poca hojarasca en el suelo, lo cual indica que el ciclaje de nutrientes no se ha iniciado bien todavía.

Las prácticas actuales de hacer el plateo en pendientes y arar y rastrillar en las partes mecanizables mantiene la capa de materia orgánica en su sitio. El arado y rastrillado es una práctica clave para el establecimiento exitoso del eucalipto para eliminar la competencia debido al pasto y aflojar los suelos compactados que anteriormente fueron usados para ganado (Vélez, 1981; Cannon, 1981).

### Fertilización al Momento de la Plantación

La fertilización al momento de la plantación ha sido muy favorable en términos de tasa de crecimiento, especialmente en los eucaliptos, y también para fomentar la iniciación del ciclaje de nutrientes. El pino y el ciprés no dependen tanto de la fertilización para iniciar el ciclaje de nutrientes entre el árbol y el suelo (Cannon, 1981).

A diferencia de la agricultura, donde generalmente se requieren grandes cantidades de fertilizantes, en la reforestación, la aplicación de pequeñas cantidades de fertilizante, es a menudo suficiente para estimular una respuesta apreciable en árboles forestales. En un ensayo realizado con *P. elliotii* en la Florida (E.U.) la aplicación de 45 kg de nitrógeno por hectárea resultó en un aumento de 5.2 veces en la producción de madera y el contenido de N en los árboles se aumentó de 100 kg/ha a 560 kg/ha (Pritchett, 1979). La razón para este fenómeno es que el nitrógeno aplicado permitió un aumento de la tasa de mineralización de la materia orgánica en el suelo, liberando los nutrientes para ser utilizados por los árboles.

### Aplicaciones Repetidas de Fertilizantes Durante el Turno

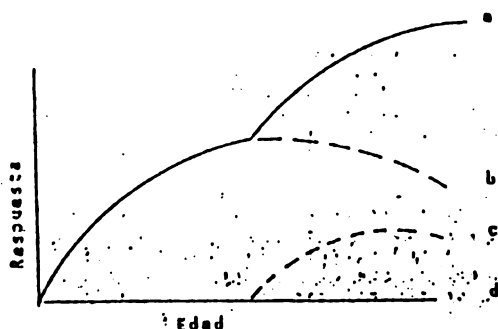
Para ciertos elementos y bajo algunas circunstancias es ventajoso fertilizar más de una vez cuando los árboles tengan un mayor desarrollo. En una plantación de *Eucalyptus grandis* de un año de edad en el Valle, había síntomas de una deficiencia de fósforo. Con una segunda aplicación de 10-30-10 (NPK) se dobló su crecimiento en altura durante el segundo año.

Hay varias clases de respuesta a una fertilización repetida en el bosque o a la fertilización

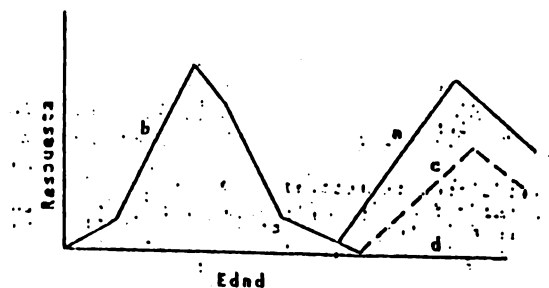
memorada. La respuesta de los árboles a la fertilización con el fósforo sigue un patrón diferente que la fertilización con el nitrógeno (Figura 27). La dosis y formulario del fertilizante y también la especie y el medio ambiente determina la clase de respuesta. La aplicación de nitrógeno más fósforo da como resultado una respuesta aditiva en el crecimiento (Vélez, 1981). Una aplicación de NPK al momento de la plantación y otra más tarde daría un patrón como el caso a del modelo 1 en la Figura 27.

**FIGURA 27**  
**Patrones Generalizados de las Respuestas a la Fertilización<sup>1</sup>**

Modelo 1: Respuesta Esperada Para Fósforo



Modelo 2: Respuesta Esperada Para Nitrógeno



Patrones de Fertilización de Coníferas

- a) Año 0 y más tarde
- b) Año 0 solamente
- c) Solamente durante el turno
- d) Sin fertilización

<sup>1</sup> NCSFFC (1981).

En suelos deficientes en fósforo y boro es importante aplicar los elementos al momento de la plantación. El caso del nitrógeno es diferente y no se aplica tanto para asegurar el éxito inicial de la plantación sino para estimular un crecimiento adicional. Por tanto, la fertilización con nitrógeno a menudo se hace cerca del final del turno para lograr la máxima estimulación del bosque con el mínimo tiempo de inversión en la cosecha de mayor volumen de madera. En el Pacífico Noroeste de los Estados Unidos es rentable aplicar nitrógeno en forma de urea 10 años antes de la cosecha de *Pseudotsuga mensezii* creciendo en suelos volcánicos con turnos de 40 años (Jones, 1979). Tal clase de fertilización se describe por el patrón c del modelo 2 en la Figura 27.

### Fertilización con la Entresaca

La respuesta a la fertilización repetida durante el turno es mayor después de la entresaca debido a la disponibilidad de más agua y luz para cada árbol residual en pie y también porque el árbol tiene un espacio adicional para expresar una respuesta mayor al estímulo de la fertilización (Tabla 14). Además, al abrir el dosel se aumenta la penetración de luz a la superficie del suelo resultando en una mayor temperatura. Como resultado la tasa de mineralización de la materia orgánica en el humus se aumenta (Pritchett, 1979).

**TABLA 14**

**Respuesta de *Pinus taeda* a la Fertilización con Nitrógeno Con y Sin la Entresaca<sup>1</sup>**

TRATAMIENTO	CRECIMIENTO NETO 4 AÑOS DESPUÉS	
	ENTRESACADO m <sup>3</sup> /ha	NO ENTRESACADO <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /ha
Fertilizado	45	54
No Fertilizado	38	49
<b>Aumento</b>	<b>7</b>	<b>5</b>

1 NCSFFC (1981)

2 El mayor volumen total sin entresaca se debe al mayor número de árboles en pie.

### Efecto de la Cosecha

Al cortar la plantación se interrumpe el ciclaje de nutrientes y se llevan algunos nutrientes con la madera, dependiendo de la clase de cosecha. Dado que la gran mayoría de los nutrientes en el bosque se encuentran en los tejidos del follaje, las yemas, la corteza y las raíces, el sistema de cosecha que deja este material en el suelo, cosechando solamente la madera, es el que deja

más nutrientes en el sitio para el próximo turno. Actualmente se utiliza este método de cosecha para las cosechas de madera de pulpa en la Empresa.

Otras clases de cosechas que se utilizan en otras partes del mundo, remueven más nutrientes del sitio pero todavía es mucho menos que los que se quitan en la agricultura (Tabla 15).

**TABLA 15**  
**Biomasa y Nutrientes Removidos del Campo con Varias Clases de Cosecha<sup>1</sup>**

CLASE DE COSECHA	MATERIAL EXTRAÍDO DEL CAMPO					
	BIOMASA Ton/ha/año	N kg/ha/año	P kg/ha/año	K kg/ha/año	Ca kg/ha/año	Mg kg/ha/año
Madera para pulpa sin corteza	6.4	4.6	0.8	3.8	4.3	1.3
Madera para pulpa con corteza	7.2	6.5	0.9	5.0	6.4	1.6
Árbol entero	9.8	16.1	1.9	10.3	11.7	2.9
Árbol entero más raíces	11.6	17.9	2.3	12.6	12.8	3.6
Ensilaje de maíz	8.7	42.4	3.6	96.9	17.5	13.8
Granos de maíz (m <sup>3</sup> /ha)	10.9	99.7	19.3	19.3	0.9	8.3

<sup>1</sup> Datos de *Pinus taeda* de 16 años en Carolina del Norte, de tal manera que la plantación estaba casi a la tasa máxima de crecimiento y ejerciendo sobre el suelo una máxima demanda por nutrientes (Wells, et al., 1975).

Datos de maíz según Zobel y Davey, 1977.

---

### REFERENCIAS

- 1) Ballard R. y G. M. Will. 1981. Accumulation of organic matter and mineral nutrients under a *Pinus radiata* stand. New Zealand J. of For. Sci. 11(2): 145-51.
- 2) Bellote, A.F.J.; Sarruge, J.R.; Haag, H.P. y G.D. de Oliveira. 1980. Absorcao de macronutrientes y micronutrientes pelo *Eucalyptus grandis* (Hill, ex-Maiden) em funcao de idade. IUFRO Simposio sobre árboles de crecimiento rápido. Aguas de Sao Paulo, Brasil. Sept., 1980.
- 3) Cannon, P.G., 1981. Fertilización de plantaciones con NPK, calfos y bórax; resultados al final de cuatro años. Informe de Investigación No. 68. Cartón de Colombia, S.A.
- 4) Crane, W.L. y R.J. Raison. 1980 The nutritional effect of short rotational silviculture. IUFRO Simposium and Workshop on Genetic Improvement and Productivity of Fast-Growing Tree Species. Silvicultura 2(16): 127 (Brazil).
- 5) Esparaa, E.G., 1980. Contenido mineral de *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinea* e *Quercus suber* e a biociclagem de aluminio destas especies nos mesmos tipos de solo e clima mediterráneo. Simposio IUFRO en Melhoramiento Genético e Productividades de Especies Florestais de Rápido Crecimiento. Silvicultura 2(16): 124 (Brasil).
- 6) Haag, H.P., 1980. Influencia de florestas implantadas de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre as características químicas de solo. Simposio IUFRO en Melhoramiento Genético e Productividade de Especies Florestais de Rápido Crecimiento. Silvicultura 2(16): 128. (Brasil).
- 7) Jones, U.S., 1979. Fertilizaers and soil fertility. Reston Pub. Co. Reston, Virginia. 368 p.
- 8) Knight, P. J. y G. M. Will. 1970. An appraisal of nutrient supplies available for tree growth on a pumice soil. Earth Sci. J. Vol. 4 No. 1. 16 p.
- 9) Krauskopf, K. B., 1972. Geochemistry of micronutrients. En: J.J. Mortvedt et al., eds. Micronutrients en agriculture. Soil Sci. Soc. of Amer. p. 7-40.
- 10) Ladrach, W.E., 1983. Crecimiento de Arboretum de Chupillauta al finalizar diez años. Informe de Investigación No. 82. Cartón de Colombia, S.A. 8 p.

Actualmente los dos viveros operacionales que abastecen la gran mayoría de las plántulas para la reforestación de la Empresa y también para muchos particulares, son los de Restrepo (V) y Popayán, con una capacidad combinada de 6 millones de plántulas por año. El medio para la producción de plántulas en el vivero de Restrepo es un subsuelo amarillento de ceniza volcánica con poca materia orgánica y el de Popayán es de suelo negro con alto contenido de materia orgánica, también de ceniza volcánica. Con distintos suelos y en diferentes regiones, la composición química de los dos también varía (Tabla 19).

**TABLA 19**  
**Propiedades Climáticas y Edáficas de los Viveros de Restrepo y Popayán**

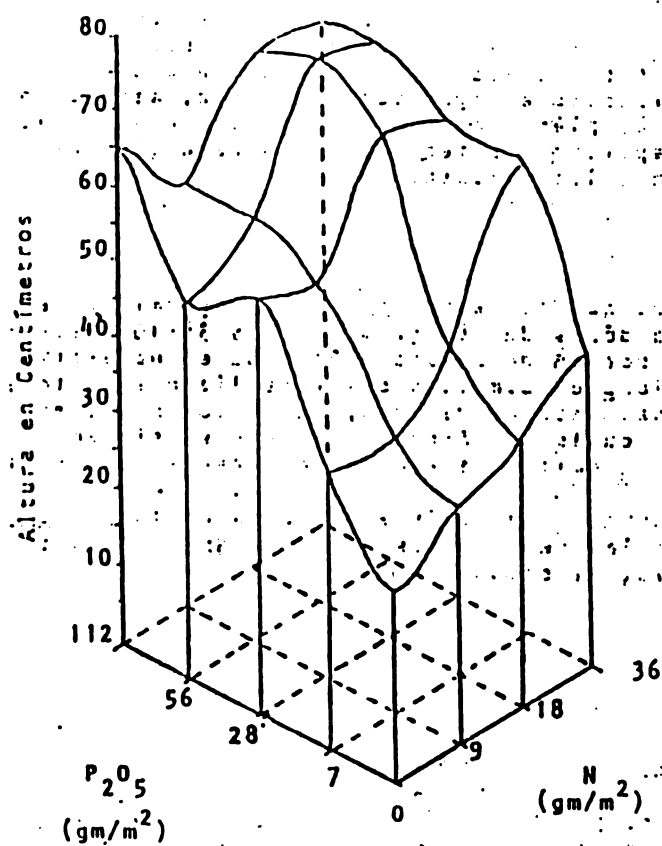
SUELO <sup>1</sup>	RESTREPO	POPAYÁN
Materia Orgánica %	0.1	10.6
pH	5.3	5.2
P, ppm	1.3	3.6
Al, meq/100 gm	---	0.8
Ca, meq/100 gm	0.25	3.68
Mg, meq/100 gm	0.81	0.93
K, meq/100 gm	0.05	1.06
B, ppm	0.24	0.50
<b>OTROS</b>		
Altura, mts, a.s.n.m.	1.400	1.750
Pluviométrica, mm/año	1.400	1.900
Temperatura promedio °C	21	18

<sup>1</sup> Análisis de suelos por C.I.A.T., Palmira.

Las bases para el procedimiento de la fertilización en los viveros se deben en gran parte a la experiencia y a los ensayos *ad hoc* realizados a través de los años por los viveristas y el personal encargado de su manejo. En 1981, Vélez hizo una serie de ensayos que mostraron definitivamente el valor de la aplicación de fósforo y nitrógeno y, además, el mejor método de aplicarlos para obtener un máximo beneficio. La dosis de 56 gramos de P más 18 gramos de N por m<sup>2</sup> en las áreas dió como resultado un crecimiento 3.4 veces mayor que el testigo en ensayos con *Eucalyptus grandis* (Figura 36).

FIGURA 36

Respuesta de *Eucalyptus grandis* a Cuatro Niveles de Nitrógeno y a Cinco Niveles de  $P_2O_5$ , en el Vivero "La Florida" de Popayán a 15 Semanas Después del Repique<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Adaptado de Vélez (1981).

Fertilización Forestal  
Santiago, Veraguas - Panamá

## Vivero de Restrepo

### Eucaliptos

Cuando se seimbra la semilla directamente en la bolsa, no se aplica el fertilizante hasta después de seis semanas con el fin de evitar daños químicos a las tiernas plántulas. Durante las siguientes cinco semanas se aplica semanalmente una dosis de 8 gramos de 15-38-10 disuelto en agua por m<sup>2</sup> de era, dependiendo de la necesidad de las plántulas. Un mes antes de llevarlas al campo, se dejan de aplicar los fertilizantes para que las plántulas se endurezcan y lignifiquen.

### Pinos

Una semana antes del repique del arbolito recién germinado en la bolsa, se aplica una dosis de 180 gramos de 15-38-10 disuelto en tres litros de agua por m<sup>2</sup> de bolsas. El agua es necesaria para asegurar la distribución completa del fertilizante en todas las bolsas. Tres semanas después del repique de los pinos en las bolsas, durante las cuales el árbol establece su sistema de raíces en el medio, se aplica semanalmente durante las próximas tres semanas una dosis de 5 gramos de 15-38-10. A partir de la sexta semana se aumenta la dosis a 8 gramos de 15-38-10 por m<sup>2</sup> por semana según las necesidades de las plántulas hasta un mes antes de llevarlas al campo.

## Vivero de Popayán

### Eucaliptos

Una semana antes de sembrar la semilla en las bolsas, se aplica una dosis de 200 gramos de 15-38-10 por m<sup>2</sup> de era disuelta en 5 litros de agua, seguido por un riego de saturación para mejor distribución del fertilizante. Esta dosis, que equivale a medio gramo de abono por bolsa, permite que las plántulas alcancen el tamaño ideal de 25 cm en tres meses. Para producir plántulas de eucalipto en dos meses y medio, se dobla la dosis indicada.

Durante el desarrollo de las plántulas en el vivero no se aplica más fertilizante hasta la semana antes de llevarlas al campo cuando se les aplica una dosis de 150 gramos de 15-38-10 por m<sup>2</sup> disuelta en 10 litros de agua, seguido por un buen riego. No es tan importante endurecer las plántulas para la reforestación en el Cauca ya que tiene un clima más favorable con lluvias más frecuentes durante la época de plantación.





### Pinos en Bolsas

La fertilización de los pinos en bolsa es parecida a la de los eucaliptos, con la diferencia de que se aplica la dosis antes del repique de la plántula en vez de antes de la siembra directa. La dosis de 200 gramos 15-38-10/m<sup>2</sup> basta para producir las plántulas en cinco meses y doblando esta dosis reduce el turno de vivero a cuatro meses. La última aplicación de 150 gramos 15-38-10 se hace una semana antes de llevar las plántulas al campo.

### Pinos a Raíz Desnuda

Después de la fumigación de las eras con 3% formol y ocho días antes de la siembra, se aplica 15-38-10 en forma seca en una banda por cada hilera de siembra a razón de 400 gramos/m<sup>2</sup>. Después se riega hasta la saturación con el fin de distribuir el fertilizante por el suelo de la era. Un mes después de la siembra se aplica una leve dosis de micronutrientes tal como 8 gm/10 litros agua/m<sup>2</sup> de Coljap o similar. En otras dos semanas se aplica 10 gm/5 litros agua/m<sup>2</sup> de 15-38-10 y se repite la dosis tres veces más con intervalos de dos semanas. Después de tres meses de tres meses de la siembra se deja de aplicar y se podan las raíces laterales y pivotantes para endurecer la plántula.

### REFERENCIAS

- Vélez, E., 1981. Optimización de fertilizantes en *Pinus patula* y *Eucalyptus grandis* y el efecto de la densidad aparente del suelo en *E. grandis* en el vivero La Florida de Popayán. Informe de Investigación No. 71. Cartón de Colombia, S.A. 16 p.

## **LISTA DE PARTICIPANTES**

**LISTA DE PARTICIPANTES**

<b>NOMBRE</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>
Lucila Barrantes	MIVISA
Bolívar Jaén L.	INRENARE (CEMARE)
Narciso Cubas	INRENARE (CEMARE)
Pascual Castillo	INRENARE (CEMARE)
Carlos A. Sánchez B.	INRENARE (CEMARE)
Horacio Arosemena	Proyecto Reforestación Privado
Manuel Hurtado	INRENARE (Plantación)
Archibaldo Robinson	CINAP
Franklin Quintero	F.C.A.
Juan E. Gil A.	INRENARE
Erick R. Jaén	GeoForestal
Virgilio Tejeira	GeoForestal
Jacobo Melamed	GeoForestal
Alfredo Morales	Agoneve
Mario Gómez O.	GeoForestal
Carlos A. Cheng	Carydisa
Luis H. Pitti	Oro Verde
Juan Navarro	Servicio de Forestería
Frank Kelso	Miraflores y Cía. S.A.
Abraham L. Nuñez	Servicios Forestales
Ovidio Novon S.	Fac. Ciencias Agropecuarias
Víctor Montero	Fac. Ciencias Agropecuarias
Nelson J. Guerra N.	INRENARE
Nivaldo E. Vargas	F.C.A.
Daris Domínguez	INRENARE
Abundio Santos	INRENARE
Irene Gallego	PAN/GTZ
Gilberto Samaniego	PAN/GTZ
Sebastián Tejedor	IDIAP/Divisa
José A. Rojas. E.	INRENARE
Aristides Nuñez	Reforestadora Darién
Luis Vega	ITCR
Arturo Cerezo C.	FCA-UP
Sergio A. Noriega	Cemento Panamá, S.A.
Noé Aguilar V.	Universidad de Panamá