

FACTORES LIMITANTES DEL CRECIMIENTO DE
PLANTACIONES DE *CUPRESSUS LUSITANICA*

EN ANTIOQUIA, COLOMBIA *

Por:

HEINRICH TSCHINKEL **

RESUMEN

El crecimiento de las plantaciones de *Cupressus lusitanica* en el Oriente Antioqueño, Colombia, es muy variable y está estrechamente relacionado con la fisiografía. Con el objeto de encontrar los factores que en algunos sitios limitan el crecimiento, se emprendió una serie de investigaciones enfocadas desde diferentes puntos de vista. De estas investigaciones se dedujo que la baja disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo limitaban el crecimiento. La fertilización con estos dos elementos mejoró considerablemente el crecimiento de las plantaciones de 15 años de edad. Estas conclusiones se basaron en las siguientes investigaciones: 1º - Análisis de los perfiles de los suelos (Dystrandeps típicos) de diferentes condiciones fisiográficas, los cuales incluyeron curvas de retención de la humedad, densidad aparente y porosidad los cuales indicaron que las propiedades físicas del suelo eran favorables para el crecimiento de los árboles. Sin embargo, los análisis químicos mostraron que a pesar de los altos contenidos de carbón

SUMMARY

The growth of plantations of *Cupressus lusitanica* (Miller) on volcanic ash soils of the Central Cordillera of Colombia (Departamento de Antioquia) is extremely variable and is closely related to the physiography. In order to identify the factors which limit growth on the poor sites, investigations were carried out which focused on the question from different points of view. It was concluded that the low availability of phosphorus and nitrogen in the soil limit growth. Fertilization with these two elements in combination considerably improved growth of 15 year old plantations on medium and poor sites.

These conclusions were based on the following investigations: 1º - The analyses of soil profiles (Typic Dystrandeps) from different physiographic positions which included determination of bulk density, total porosity, and the soil moisture retention curves, indicated that the soil physical properties were favorable for tree growth. However, chemical analyses

* El estudio se llevó a cabo dentro del marco del Proyecto UNDP/FAO, Centro de Educación e Investigación Forestal.

** Oficial Forestal. Departamento de Recursos Forestales de la Universidad Nacional de Colombia y Proyecto UNDP/SF - FAO COL 16.

y de nitrógeno, la rata de mineralización de este último elemento era extremadamente baja. La disponibilidad del fósforo fue baja en todos los sitios. 2º- Mediciones de la tensión de la humedad del suelo, las cuales indicaron tensiones bajas aún durante la estación seca. La humedad del suelo era adecuada en todos los sitios. 3º- La comparación de los síntomas de deficiencia de nutrientes observados en el campo con los obtenidos en ensayos realizados en soluciones nutritivas, indicaron una probable deficiencia de fósforo. 4º- Un ensayo de fertilización en macetas que también señaló al fósforo como elemento limitante. 5º- Dos ensayos de fertilización en el campo los cuales confirmaron la deficiencia de nitrógeno y fósforo. Los tratamientos con la combinación de urea y superfosfato triple produjeron un crecimiento adicional de aproximadamente 8 m³/ha/año en comparación con el testigo en cada uno de los dos ensayos. 6º- Los análisis químicos foliares cuyos resultados mostraron poca variación en la concentración de los nutrientes durante el año. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo correlacionaron bien con el crecimiento en altura. 7º- La medición del crecimiento diamétrico y de las ramas, que no indicó una marcada periodicidad durante el año.

Para identificar los factores limitantes el método integral seguido dió respuestas rápidas y seguras.

showed that in spite of very high carbon and nitrogen contents the nitrogen mineralization rate was extremely low. Phosphorus availability was low on all sites. 2º- Measurements of soil moisture tension gave low tensions even during the dry season. Soil moisture seemed to be adequate on all sites. 3º- The comparison of nutrient deficiency symptoms created in sand culture with discolorations observed in the field pointed at possible phosphorus deficiency. 4º- A greenhouse fertilizer trial also indicated phosphorus to be a limiting element. 5º- Two field fertilizer trials confirmed the deficiency of nitrogen and phosphorus. Fertilization with the combination urea and triple superphosphate caused volume growth to increase by about 8 m³/ha/year in comparison with the control. Specifically, on poor sites growth increased from 4 to 12 m³/ha/year; whereas on medium sites it increased from 10 to 18 m³/ha/year. 6º- Foliar analysis aided in the interpretation of the fertilizer trial. There was little variation in the nutrient concentration during the year. The concentration of phosphorus and nitrogen correlated closely with height growth. 7º- Diameter growth, measured with dendrometers, and shoot growth showed no marked periodicity during the year.

To identify the limiting factors, the integrated methods followed here, gave fast and reliable answers.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece muy sinceramente la colaboración que recibió de muchas personas durante la realización de este trabajo. En especial destaca la ayuda del señor Hernán Rodríguez, Práctico Forestal de la Secretaría de Agricultura de Antioquia, quien durante más de tres años en forma muy efectiva y con gran dedicación asistió al autor en casi todos los aspectos de la investigación. Se agradece a la Secretaría de Agricultura por haber hecho posible esta colaboración. También se expresa cordial agradecimiento al doctor Heinz W. Zöttl, Profesor de Edafología de la Universidad de Hamburgo quien como Consultor de la FAO ayudó con muchas sugerencias e ideas, y al doctor Hugo H. John, Oficial Forestal del Proyecto UNDP/SF - FAO COL 16, por su orientación durante el análisis de los datos.

Se dan las gracias a los siguientes colegas que ayudaron en varios aspectos, especialmente con sugerencias y la revisión del manuscrito: Ingenieros Forestales: Rafael Escobar, César A. Pérez, Jaime Raigosa, Jaime Ramírez, Arturo Romero; Ingenieros Agrónomos: Héctor Medina y Oscar Ospina; Geólogo Michel Hermelín.

1. INTRODUCCION

La reforestación en el Departamento de Antioquia, Colombia, ha aumentado rápidamente en los últimos años. La especie más ampliamente plantada hasta ahora, el *Cupressus lusitanica* Miller o ciprés, ha dado resultados muy variados. Un trabajo previo (Tschinkel 1972 b) mostró que el crecimiento neto en volumen de plantaciones jóvenes, situadas a pocos metros de distancia, puede variar entre casi 2 m³/ha/año hasta 20 m³/ha/año, lo mismo que existe una relación entre el crecimiento y la forma topográfica. Diferencias tan grandes naturalmente plantean el interrogante del porque las plantaciones de *Cupressus* no crecen satisfactoriamente en ciertos sitios. La respuesta a esta pregunta podría ayudar a la identificación de los sitios más aptos para plantar y posiblemente al mejoramiento de miles de hectáreas de plantaciones de crecimiento muy lento, mediante tratamientos silviculturales bien dirigidos. Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo identificar los principales factores que limitan el crecimiento de las plantaciones de *Cupressus lusitanica* en el Departamento de Antioquia. Para desenredar el complejo de factores que pueden estar en juego, un método integral, ecológico, es el más indicado. Se emprendieron una serie de investigaciones enfocadas desde diferentes puntos de vista, incluyendo estudios de las propiedades de los suelos, la humedad del suelo, la respuesta a la aplicación de fertilizantes, el análisis químico del follaje y la periodicidad del crecimiento. La interpretación del conjunto de estos indicios da respuestas seguras y de mayor utilidad práctica.

Aunque el *Cupressus* se ha plantado en el Oriente Antioqueño y sobre las laderas del valle del Río Medellín, en una extensión apreciable, por razones prácticas se limitó la mayor parte de esta investigación a la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas, que se considera representativa de extensas áreas de las tierras de colinas del Oriente Antioqueño. La Estación Experimental está ubicada en la Cordillera Central de los Andes Colombianos, a aproximadamente 20 km. al este de la ciudad de Medellín, y tiene un área aproximada de 3.000 ha. de tierras de colinas cuya elevación varía entre 2.200 y 2.500 metros sobre el nivel del mar. Anualmente recibe 1.590 mm. de precipitación y cuenta con una estación seca poco intensa de diciembre hasta abril (Cuadro 1). Durante los tres meses consecutivos más secos cayeron 74 mm. de lluvia (enero-marzo 1954). La temperatura media anual es 15°C. La vegetación original consistió de un bosque mixto latifoliado y perennifolio de unas 15 a 25 especies de árboles, donde el roble *Quercus humboldtii* era la especie dominante (Pérez y Ramírez 1969). La tierra donde esta localizada la Estación se usó para potreros y en las partes más planas para agricultura de subsistencia. Sin embargo, desde hace varios años se están abandonando progresivamente estos usos por sus bajos rendimientos, y es justamente sobre estos potreros pobres ya enrastrados en donde se suelen establecer las plantaciones forestales.

CUADRO 1

La precipitación promedio en Chorrillos, Estación Experimental de Piedras Blancas basada en 21 años de registros. Datos: Cortesía de las Empresas Públicas de Medellín.

Mes	Precipitación promedia (mm)	Desviación standard de las observaciones individuales (mm)
Enero	41	31.0
Febrero	76	67.0
Marzo	88	52.6
Abril	185	55.3
Mayo	208	55.7
Junio	139	68.7
Julio	100	45.9
Agosto	133	43.0
Septiembre	149	47.7
Octubre	215	64.0
Noviembre	165	65.3
Diciembre	83	42.4
T O T A L	1590	236.9

2. GEOLOGIA, FISIOGRAFIA Y SUELOS

2.1. *Descripción geológica y fisiográfica de la región*

La Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas ocupa la cuenca de la quebrada del mismo nombre. Su límite occidental está formado por la divisoria de aguas entre el río Medellín y la quebrada Piedras Blancas y es sobre este límite en donde se alcanzan las elevaciones mayores y las pendientes más fuertes.

El sustrato geológico de casi toda la Estación Experimental lo forman anfíbolitas de origen ígneo, las cuales tienen una amplia distribución al este, y al norte de Medellín. Esta roca de textura que varía entre néisica y esquistosa, está compuesta principalmente por hornblenda (50% hasta 75%) y en segundo lugar

por plagioclasas de tipo andesítico (25% hasta 50%). El cuarzo generalmente no sobrepasa el 5% y rellena fisuras o está uniformemente repartido (Botero 1963). Estas anfibolitas han sido intensamente meteorizadas hasta profundidades de 10 ó 20 m. algunas veces y, por lo tanto, los afloramientos de roca sólida son escasos.

Un manto de cenizas volcánicas cubre toda la Estación Experimental, excepto en las pendientes más fuertes en donde se ha erosionado. Su espesor es de alrededor de 1 m. pero puede llegar en ocasiones hasta 2 m. Aunque faltan estudios sobre la distribución y composición de estas cenizas volcánicas, se supone que provengan del nevado del Ruiz y de otros volcanes cercanos a Manizales (Wright, 1963), suposición que se basa principalmente en el aumento gradual del espesor de la ceniza hacia la mencionada dirección. El espesor disminuye hacia el norte de Medellín, de tal manera que en la cercanía de Santa Rosa de Osos casi nunca sobrepasa los 40 ó 50 cm. La composición original de las cenizas se ha descrito como dasítica hasta andesítica (Wright, 1963). La falta de estratificación de las cenizas hace pensar que fueron depositadas durante un intervalo relativamente corto. Estas cenizas se han meteorizado fuertemente en todo su espesor y así han dado origen a los suelos más importantes de una vasta región.

En Antioquia Central el contacto entre las cenizas volcánicas y las anfibolitas meteorizadas (o también la cuarzodiorita del Batolito Antioqueño meteorizado) generalmente es muy claro y abrupto. Es frecuente observar la presencia de fragmentos angulares de cuarzo, comunmente hasta de 4 cm. de diámetro, alineados a lo largo del contacto. Puesto que la ceniza volcánica está completamente libre de cualquier fragmento, estos solamente pueden provenir de venas de cuarzo del material subyacente. La distribución de los fragmentos en forma de una capa a lo largo del contacto, que a menudo puede seguirse por muchos metros en cortes de carretera, indica que alcanzaron esta distribución antes de la deposición de las cenizas. En aquella época los suelos derivados de las anfibolitas sufrieron una intensa erosión, de tal manera que se removió el material fino, mientras que los fragmentos provenientes de las venas de cuarzo quedaron distribuidos sobre la superficie. Las cenizas volcánicas que cubrieron luego esta antigua superficie han sufrido relativamente poca erosión desde su deposición.

Es interesante especular sobre las condiciones que pudieron haber dado origen a la capa de fragmentos de cuarzo, debido a que ésta nos podría indicar una edad límite para la deposición de las cenizas. Tales capas de fragmentos angulares normalmente no se forman en regiones con climas húmedos, templados y con vegetación densa como son las condiciones de Antioquia Central hoy día. Más bien están típicamente relacionadas con climas fríos o vegetación escasa. Durante la última época glacial al final del Pleistoceno el clima de los Andes colombianos era más frío que el actual: la línea de nieve perpetua y el nivel in-

ferior de los glaciares se encontraban a menor elevación (Oppenheimer, 1940). Con base en numerosos indicios Wilhelmy (1957), describe el descenso de las actuales zonas climáticas durante el Pleistoceno; concluye que el nivel de nieve perpetua se encontraba 700 a 1.000 metros más bajo que el actual y que el límite inferior de la zona de soliflucción, es decir, el transporte debido al hielo-deshielo diario, estaba solamente a 2.640 m. sobre el nivel del mar. En vista de que la elevación de la Estación Experimental varía entre 2.300 y 2.500 m., es lógico suponer que tenía un clima frío que posiblemente se parecía mucho al clima del actual límite superior del páramo. Bajo estas condiciones se hace posible la formación de una capa de fragmentos sobre la superficie, debida, posiblemente, en parte al efecto de la soliflucción. La disminución del tamaño de los fragmentos angulares al alejarse de las venas pendiente abajo habla en favor de este fenómeno. Es de anotar que la capa de fragmentos se observa fuera de la Estación Experimental hasta elevaciones tan bajas como 2.100 m. y que es aún más marcada sobre la cuarzodiorita meteorizada del Batolito Antioqueño. Con base en esta hipótesis la deposición de las cenizas tiene que haberse iniciado posteriormente a la última época fría al final del Pleistoceno. La notable ausencia de horizontes de suelo enterrados por la ceniza hace pensar que no transcurrió mucho tiempo entre el final de la época fría y el comienzo de la deposición de las cenizas.

2.2. *Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en el Oriente Antioqueño.*

2.2.1. *Distribución y desarrollo de los suelos.*

Los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen una amplia distribución en las zonas volcánicas que rodean el Océano Pacífico y también en otras partes del mundo. Tienen ciertas propiedades típicas que los distinguen de suelos derivados de otros materiales parentales. Estas propiedades se deben principalmente a los productos de la meteorización de los vidrios volcánicos, los cuales forman una arcilla amorfa, comunmente denominada alófana. Varias publicaciones recientes resumen el desarrollo y las características de suelos derivados de cenizas volcánicas (FAO 1964, IICA 1969, Wright 1965). Más específicamente Fernández y Santa (1964), Gómez y Castrillón (1964) y Luna (1968), han resumido e investigado la distribución y el desarrollo de los suelos volcánicos de la región de estudio.

2.2.2. *Propiedades mineralógicas.*

Dos autores analizaron detalladamente muestras de suelos que se pueden tomar como representativos de la región de estudio, a juzgar por su morfología y localización. Estas muestras corresponden a los dos horizontes superficiales de suelos de "La Selva", cerca a Rionegro, analizados por León (1967) y los Perfiles 23 y, hasta cierto punto, el Perfil 18 estudiado por Luna (1968).

En cuanto a la composición mineralógica de la fracción arcillosa ambos autores concuerdan en que los minerales amorfos dominan en los horizontes superiores. Pero aunque León no encontró minerales cristalinos, Luna indica un abundante contenido de cuarzo y cristobalita. Según éste, el material amorfo el cual Luna denomina alófana, disminuye con la profundidad del perfil y no se encuentra en el horizonte derivado de la anfibolita.

Para la fracción limo, León también menciona la presencia de abundante material amorfo, cuarzo y cristobalita, pero no encontró otro mineral meteorizable.

Según Luna, en la fracción arenosa los minerales pesados varían entre 11% y 35%, y son casi en su totalidad hornblendas con algunos orto-piroxenos. En los minerales livianos domina el cuarzo pero también hay bastantes feldespatos potásicos y ácidos, plagioclasas y hasta 10% de vidrio volcánico. Es decir, todavía hay apreciables cantidades de minerales meteorizables en esta fracción. Rodríguez (1969), examinó un perfil comparable al Perfil 23 de Luna y confirma los resultados de éste, excepto que encontró hasta 95% de vidrio volcánico en la fracción liviana.

2.2.3. *Propiedades Físicas.*

Se ha prestado poca atención a las propiedades físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas y para la región de estudio casi no existen investigaciones sobre el tema. Del Valle y Cadavid (1971), hicieron una revisión de los trabajos existentes y destacan las siguientes propiedades más importantes: irreversibilidad al secado, límites líquidos y plásticos muy altos, apariencia jabonosa al tacto, densidad aparente muy baja (entre 0.3 y 0.5 g/cm³), porosidad alta, retención de humedad y agua aprovechable para las plantas, altas. Para varias muestras de la Estación Experimental de Piedras Blancas se confirman los resultados de otras regiones, en el sentido de que los suelos de ceniza volcánica son difíciles de dispersar, lo que explica las texturas franco-arenosas que comúnmente se citan para estos suelos. Demuestran que con base en pruebas de tacto, en la alta capacidad de intercambio de cationes y especialmente en las curvas de retención de humedad, las texturas verdaderas se asemejan más a las arcillosas.

Para los suelos volcánicos de Chile, Schalscha (1965) encontró que la irreversibilidad al secado afecta los resultados de los análisis químicos tanto como los de textura y sugiere que éstos suelos deben analizarse sin secar. Sin embargo casi todos los análisis existentes en la literatura se basan sobre muestras secadas al aire.

2.2.4. *Propiedades químicas.*

Aunque se han hecho numerosos análisis químicos de rutina con fines agronómicos, para una caracterización más detallada las mejores fuentes son también los trabajos de León (1967) y Luna (1968). Ambos destacan, así como los análisis de rutina, el muy

alto contenido de carbono (hasta 21%) y de nitrógeno en los horizontes superiores. El trabajo de Ospina (1967), que incluye las mismas muestras de "La Selva", hace pensar que una de las causas de este contenido tan alto de materia orgánica puede deberse a la formación de complejos estables entre el aluminio y la materia orgánica, los cuales inhiben la mineralización. El contenido de cationes intercambiables es muy bajo, así que normalmente la suma de Ca, Mg, K y Na no sobrepasa a 2 m. e./100 g. de suelo. El problema de la determinación de la capacidad de intercambio catiónico en estos suelos alofánicos, y su dependencia del pH fueron estudiados por León y por Ospina, pero en general se está de acuerdo en que la capacidad de intercambio catiónico es muy alta, de tal manera que el porcentaje de saturación con bases es muy bajo, siendo generalmente inferior a 3%. La notoria fijación del fósforo en los suelos alofánicos fue confirmada por León y también por Lemos (1968). En resumen, se podría decir que entre 12 suelos de varias regiones de Colombia estudiados por León, las muestras de "La Selva" son las que más se destacan de todas las demás, especialmente en cuanto a las propiedades relacionadas con el cambio catiónico y la fijación del fósforo, subrayando una vez más las condiciones excepcionales que estos suelos ofrecen para el uso agrícola o forestal.

Con base en su análisis, Luna (1968) clasifica según la "7ª Aproximación", como Dystrandeps típicos los dos perfiles de interés para este trabajo.

2.3. *Caracterización de siete perfiles representativos de las formas fisiográficas comunes.*

Ya se mencionó que el crecimiento de las plantaciones de *Cupressus* varía mucho de acuerdo con la posición topográfica. Así se pudo mostrar (Tschinkel 1972 b) que, en general, el crecimiento aumenta progresivamente desde las cuchillas topográficas hacia las pendientes y hacia las hondonadas, es decir desde las formas convexas hacia las formas cóncavas. Era evidente que las causas de la variación en el crecimiento deberían buscarse en el suelo, bien sea en diferencias en las propiedades intrínsecas de los suelos sobre las diferentes posiciones fisiográficas, y/o en diferencias en sus regímenes hidrológicos. Por lo tanto, se seleccionaron siete perfiles de suelo que se juzgaron representativos de las formas topográficas más comunes de la Estación Experimental de Piedras Blancas. Los objetivos específicos al estudiar estos perfiles fueron: 1) Describir suelos representativos de la región de estudio para permitir una aplicación más amplia de los resultados de esta investigación; 2) Examinar la variación existente en las diferentes propiedades de los suelos en relación con la fisiografía; y 3) Dar indicios sobre posibles análisis químicos o físicos que se correlacionen con el crecimiento del *Cupressus*. Se hizo una descripción de cada perfil y se analizaron ciertas propiedades físicas y químicas. Las diferencias morfológicas entre perfiles no eran muy marcadas, por lo cual se presenta únicamente la descripción de un perfil promedio (Perfil 55), en el Anexo. Para la descripción de otros perfiles se puede ver a Del Valle y Cadavid (1970).

En el Cuadro 2 se nota que se seleccionaron dos perfiles sobre cuchillas (filos) inclinadas, uno sobre una "terrazza", dos sobre pendientes rectas, y dos en hondonadas inclinadas. La "terrazza" es simplemente un pequeño lugar casi plano sobre una cuchilla ancha que sube hacia un cerro, y no debe confundirse con una terraza aluvial. La hondonada del Perfil 56 ha sido rellenada con material transportado derivado de cenizas y también de la anfibolita, dando origen a un perfil estratificado. Todos los perfiles se clasificaron según la "7ª Aproximación" como Dystrandepts típicos.

2.3.1. *Métodos de análisis.*

Todos los análisis físicos fueron hechos por Del Valle y Cadavid (1970). Para estimar la densidad aparente se tomaron muestras con cilindros, las cuales sirvieron también para determinar el volumen total de poros con un picnómetro de aire. Para estimar la retención de humedad se utilizó el método del papel de filtro desarrollado por McQueen y Miller (1968). Estos autores revivieron y mejoraron un método descrito por Gardner (1937), el cual estima la tensión de humedad del suelo (THS) con base en la cantidad de agua absorbida por papeles de filtro en contacto con la muestra del suelo. Casi al mismo tiempo y aparentemente sin tener conocimiento de los trabajos de McQueen y Miller, Fawcett y Collis-George (1967) comprobaron un método casi idéntico. La aplicación de este método, para construir curvas de retención de humedad, solamente requirió ciertas modificaciones en la preparación de las muestras.

Para acortar el trabajo se mezclaron las muestras de algunos horizontes como se puede apreciar en el Cuadro 2. Inicialmente, cuando el suelo estaba fresco y a medida que se fue secando sobre mesas de laboratorio, se colocaron muestras de este suelo en latas con papeles de filtro para determinar la tensión de humedad. Se dibujaron la THS en la ordenada y el porcentaje de humedad del suelo en la abscisa, conectando los puntos para así obtener la llamada curva de retención de la humedad del suelo para el horizonte. La curva puede dibujarse a pulso como lo hicieron Del Valle y Cadavid (1970), pero aquí se utilizaron sus mismos datos para calcular la regresión polinomial que mejor se ajusta a los puntos. (Ver Tschinkel, 1972 a). Esta diferencia de método explica las pequeñas discrepancias entre los valores del Cuadro 2, y los presentados por Del Valle y Cadavid.

Entre los análisis físicos no se incluyeron análisis de textura por la mencionada dificultad para dispersar los suelos derivados de cenizas volcánicas.

Los análisis químicos incluyeron la determinación del carbono total por la oxidación en húmedo con dicromato de potasio y ácido sulfúrico. El nitrógeno total se determinó por el método de Kjeldahl, y fósforo total según Jackson (1958) con la digestión en HF y HClO₄ y colorimétricamente desarrollando color azul con molibdeno. El fósforo soluble fue extraído con H₂SO₄ 0.02 N. Para la determinación del aluminio intercambiable se utilizó el método de Yuan (1959).

Cuadro 2. Propiedades de 7 perfiles representativos de las formas fisiográficas más comunes de la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas.

	Horizonte		Prof. cm	Porom. tot. %	Dens. apar. g/cm ³	Contenido de humedad		Agua aprovechable			C %	N %	C/N	P tot o/oo	P disp. ppm	P d/P %	pH (KCl)	Al interc. m.e./100 g
	No.	Simbolo				vol. %	vol. bar	Horiz. %	Acum. mm	%								
Perfil 54 Cuchilla inclinada	1	A ₁₁	0 - 8	84	.39	39.5	26.3	13.2	24	24	24.6	1.30	18.9	.85	.77	.09	3.96	9.41
	2	A ₁₂	8 - 18	86	.34						15.7	.89	17.6	.77	1.00	.13	4.40	3.13
	3	AB	18 - 48	88	.36						4.4	.31	14.2	.57	.72	.13	5.42	.07
	4	B ₂	48 - 60	86	.40	47.7	30.2	17.5	74	98	3.3	.21	15.7	.57	.67	.12	5.67	.01
	5	11C	60 - 110	54	1.18	30.0	20.7	9.3	58	156	0.6	.04	15.0	.22	.82	.37	5.13	.05
Perfil 51 Cuchilla inclinada	1	A ₁₁	0 - 6	87	.30	42.0	28.0	14.0	22	22	29.6	1.40	21.1	.96	.72	.08	3.96	.62
	2	A ₁₂	6 - 16	78	.40						21.5	.99	21.7	.94	.90	1.0	4.32	3.72
	3	AB	16 - 28	86	.36						10.4	.62	17.4	.83	1.29	.16	4.84	.51
	4	B _{2cn}	28 - 40	83	.41	51.8	29.0	22.8	55	77	4.4	.28	15.7	.53	1.10	.21	5.55	.03
	5	B ₃	40 - 60	77	.50	25.8	20.5	5.3	11	88	2.9	1.56	18.1	.42	1.39	.33	5.71	-
	6	11C	60 - 80	52	1.22	31.2	41.7	9.5	19	107	0.9	.05	18.0	.25	1.92	.77	4.48	.80
Perfil 53 "terracea"	1	A ₁₁	0 - 6	80	.42	40.5	31.5	9.0	13	13	21.6	1.23	17.6	1.00	1.05	.11	4.29	3.05
	2	A ₁₂	6 - 14	71	.60						14.5	.86	16.9	.84	.67	.08	4.58	1.61
	3	AB	14 - 23	79	.46	53.8	36.8	17.0	53	66	9.8	.57	17.2	.72	.67	.09	4.93	.50
	4	B ₂₁	23 - 45	77	.50						5.8	.33	17.6	.30	1.19	.24	5.56	.08
	5	B ₂₂	45 - 70	82	.43	58.0	42.2	15.8	40	106	3.6	0.06	6.0	.42	1.19	.28	6.00	.03
	6	B ₃	70 - 95	65	.88	80.5	53.7	26.8	67	173	0.9	.06	15.0	.19	.67	.35	5.24	.07
	7	11C	95 - 140	50	1.30	59.8	44.8	15.0	68	241	0.2	-	-	.20	.77	.39	4.37	1.12
Perfil 50 Pendiente	1	A ₁₁	0 - 10	78	.47	48.5	34.0	14.5	33	33	18.7	.99	18.9	.71	.44	.06	4.14	4.14
	2	A ₁₂	10 - 23	74	.48						16.2	.79	20.5	.63	.39	.06	4.37	2.77
	3	AB	23 - 30	80	.47	63.8	43.8	20.0	46	79	9.5	.59	16.1	.56	.90	.16	4.77	.45
	4	B ₂₁	30 - 46	84	.38						5.5	.36	15.3	.44	3.85	.88	5.11	.16
	5	B ₂₂	46 - 66	81	.40	48.0	31.8	16.2	32	111	2.6	.15	17.3	.29	2.34	.81	5.82	.07
	6	B ₃	66 - 100	66	.86	53.8	32.8	21.0	92	203	1.7	.12	14.2	.33	1.05	.32	5.96	.03
	7	11C	100 - 130	66	.99	59.2	45.0	14.2	43	246	0.6	.05	12.0	.10	.77	.77	4.33	.68
Perfil 55 Pendiente	1	A ₁₁	0 - 10	82	.49	57.0	29.0	28.0	84	84	20.6	1.07	19.3	.69	1.19	.17	3.88	12.11
	2	A ₁₂	10 - 30	73	.54						14.5	.73	19.9	.57	1.34	.24	4.26	4.22
	3	AB	30 - 40	77	.52	62.0	42.5	19.5	58	142	7.2	.48	15.2	.49	1.05	.21	4.90	.42
	4	B ₂₁	40 - 60	79	.48						3.7	.24	15.4	.38	1.23	.32	5.47	.07
	5	B _{22cn}	60 - 70	81	.43	79.8	51.8	28.0	232	374	3.6	.18	20.0	.43	1.00	.23	5.57	.02
	6	B ₂₃	70 - 114	81	.44						3.6	.16	21.2	.46	.57	.12	5.86	.05
	7	B ₃	114 - 143	71	.71						1.4	.08	17.3	.21	.67	.32	5.13	.09
	8	11C	143 - 180	55	1.26	62.8	49.0	13.8	51	425	0.6	.04	15.0	.10	.85	.85	4.84	.07
Perfil 52 Hondonada inclinada	1	A ₁₁	0 - 7	81	.40	37.2	26.5	10.7	29	29	21.5	1.33	16.2	1.55	1.05	.07	4.08	5.08
	2	A ₁₂	7 - 27	72	.58						12.9	.79	16.3	1.30	1.90	.15	4.41	2.52
	3	AB	27 - 40	64	.72	73.8	43.3	30.5	146	175	5.5	.48	11.5	1.06	.85	.08	4.68	.59
	4	B ₂₁	40 - 75	71	.64						3.7	.35	10.6	1.02	.77	.08	5.26	.06
	5	B ₂₂	75 - 120	74	.58	73.2	47.0	26.2	131	306	3.1	.22	14.1	.80	.77	.10	5.32	.04
	6	B _{23cn}	120 - 125	79	.49						3.5	.06		.75	1.24	.17	5.67	.01
	7	B ₃	125 - 155	62	.91	75.0	61.0	14.0	42	348	2.5	.15	16.7	.60	.85	.14	5.74	.03
	8	11C	155 - 190	65	.97	85.2	60.0	25.2	113	461	0.9	.04	11.3	.19	.77	.41	5.07	.06
Perfil 56 Hondonada inclinada, rellenada con material coluvio- aluvial	1	A ₁₁	0 - 8	80	.44	45.5	36.0	9.5	19	19	22.1	1.17	18.9	.96	1.67	.17	4.00	7.40
	2	A ₁₂	8 - 20	66	.67						13.4	.75	17.9	.76	.67	.09	4.28	3.57
	3	AB	20 - 30	72	.64	58.8	46.0	12.8	58	77	7.5	.46	16.3	.56	.95	.17	4.68	.07
	4	B ₂	30 - 65	72	.65						3.9	.28	13.9	.61	.95	.16	5.38	.07
	5	B ₃₁	65 - 95	68	.73	68.2	42.7	25.5	77	154	1.8	.15	12.0	.53	1.15	.22	5.53	.02
	6	B ₃₂	95 - 135	73	.66	50.7	25.5	25.2	101	255	1.5	.11	13.6	.46	.44	1.0	5.34	.06
	7	B ₃₃	135 - 170	69	.75	67.0	34.8	32.2	209	464	0.7	.06	11.7	.21	.67	.32	4.41	1.40
	8	B ₃₄	170 - 200	65	1.00						1.6	.09	17.3	.36	.67	.19	5.22	.03

2.3.2. *Propiedades físicas de los siete perfiles*

Puesto que Del Valle y Cadavid (1970), discutieron a fondo los resultados de los análisis físicos, aquí solamente se resumen sus conclusiones más importantes. Las densidades aparentes (Cuadro 2), siempre son muy bajas en los horizontes derivados de ceniza volcánica pero aumentan abruptamente en todos los horizontes IIC derivados de la anfibolita. Considerando los cuatro horizontes superiores, los cuales abarcan aproximadamente los primeros 50 cm. en cada perfil, hay diferencias significativas entre ellos en cuanto a la porosidad total, pero no en cuanto a la densidad aparente (promedio = 0.49 g/cm^3). Existe una tendencia marcada hacia un aumento de la densidad aparente y una disminución de la porosidad cuando se pasa de las cuchillas, por las pendientes, hasta las hondonadas. También hay una relación inversa estrecha entre la densidad aparente y la porosidad.

Tomando los datos de Broadfoot y Burke (1958), como base de referencia, se nota que el volumen de agua retenida a 0.2 bares y a 15 bares y la diferencia entre los dos valores (agua aprovechable) tiende a estar un poco por encima de los otros suelos de texturas finas. Aparentemente no hay ninguna relación entre la forma del relieve y el agua aprovechable acumulada hasta 50 cm. o hasta 100 cm. En algunas muestras el volumen de agua retenida a 0.2 bares superó a la porosidad total, lo cual es absurdo. Esto puede deberse a errores que siguen la misma tendencia en estas determinaciones independientes.

2.3.3. *Propiedades químicas de los siete perfiles.*

Los resultados de los análisis químicos están resumidos en el Cuadro 2. Se observa que los contenidos de carbono total son extremadamente altos, llegando de 19% hasta 30% en el horizonte de 0-5 cm. y disminuyendo gradualmente con la profundidad del perfil. Los contenidos de nitrógeno siguen un patrón semejante, superando a veces, el 1% de nitrógeno en el horizonte superior. La máxima relación C/N encontrada fue de 22, la cual también disminuye con la profundidad del perfil. La concentración del fósforo total en los horizontes superiores es comparable con la de suelos agrícolas derivados de ceniza volcánica en América Central (Fassbender, 1969), con poca diferencia entre los perfiles. En cambio la concentración del fósforo soluble siempre es muy baja, y tampoco muestra mucha variación entre horizontes o entre perfiles.

Existe una estrecha correlación positiva entre el porcentaje de carbono y el porcentaje de P - total. Únicamente el perfil 52 muestra concentraciones de P aproximadamente el doble de las muestras de otros perfiles para el mismo contenido de carbono. Esta relación posiblemente se debe a que una gran parte del fósforo total es orgánico, lo que también encontró Fassbender (1969) en los suelos derivados de ceniza volcánica en América Central. La relación P - soluble/P - total siempre es baja, pero aumenta consistentemente con la profundidad del perfil, indicando un cambio en el estado del fósforo.

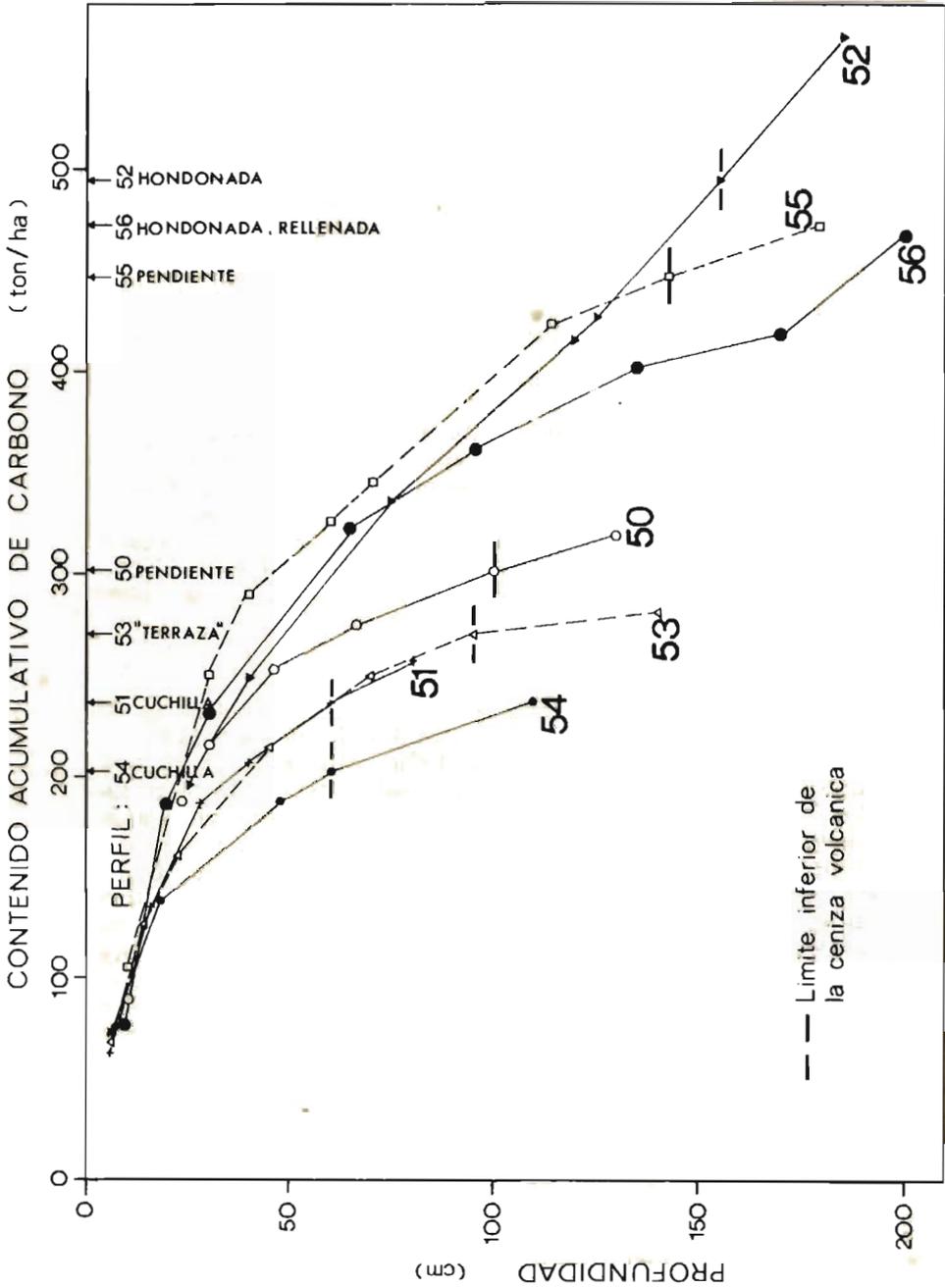


Fig. 1. Contenido acumulativo de carbono en siete perfiles. Las flechas a lo largo del margen superior indican el contenido total de carbono dentro de la capa de suelo derivado de ceniza volcánica.

El aluminio intercambiable es muy alto en los primeros horizontes, alcanzando, a menudo, niveles considerados tóxicos para muchos cultivos agrícolas. Ninguna de las propiedades expuestas en el Cuadro 2 parecen llevar una relación clara con la posición fisiográfica.

Para los efectos de interpretación forestal los análisis químicos expresados en porcentaje, tienen una utilidad limitada. Es importante más bien conocer el contenido de ciertos nutrientes y su disponibilidad dentro del volumen de suelo penetrado por las raíces de los árboles o hasta cierta profundidad. (Se calcula el contenido total con base en la densidad aparente, la concentración del nutriente, y el espesor del horizonte). Si se considera que el contenido de materia orgánica a menudo refleja la disponibilidad de varios nutrientes, es instructivo examinar el contenido acumulativo de carbono orgánico a medida que aumenta la profundidad en cada uno de los siete perfiles. La Fig. 1 muestra que el contenido de carbono dentro de la capa de suelo derivado de ceniza volcánica es menor sobre los filos, aumenta hacia las pendientes y alcanza su máximo en las hondonadas. El espesor de la capa de ceniza volcánica y el crecimiento de las plantaciones aumentan en el mismo sentido. Por lo tanto, debe preguntarse si existe una relación causal entre el contenido total de carbono y el crecimiento. Gráficos del contenido acumulativo de nitrógeno y de fósforo total, que no se incluyen aquí, muestran un patrón muy parecido al de la Fig. 1, debido a que ambos elementos correlacionan con el carbono. Es posible que los contenidos *totales* de nitrógeno y fósforo reflejan también aproximadamente, las cantidades *disponibles* para los árboles, de manera que el crecimiento está en una relación directa con las cantidades de nitrógeno y fósforo disponible, dentro de la capa del suelo intensivamente penetrado por las raíces.

En la región de estudio es común observar la misma estrecha relación entre la topografía y el espesor de la capa de ceniza volcánica demostrada en estos siete perfiles. Posiblemente esta relación explica el éxito del método para predecir la calidad del sitio para *Cupressus* con base en la topografía (Tschinkel, 1972 b). Es decir, la topografía refleja el espesor de la ceniza. Mientras más espesa es la capa de ceniza, mayores son los contenidos totales —y probablemente también las cantidades disponibles— de carbono, nitrógeno y fósforo que dicha capa contiene. Obviamente, siete perfiles no son suficientes para generalizar y únicamente sirven para sugerir la hipótesis que los contenidos totales de nitrógeno y especialmente de fósforo tendrán en estos suelos implicaciones causales para el crecimiento de *Cupressus*.

2.4. *La mineralización del nitrógeno y carbono en tres suelos de Piedras Blancas*

El contenido de nitrógeno total de un suelo indica poco sobre la disponibilidad del nitrógeno mineral (NH_4^+ , NO_3^-) para

las plantas. Una estimación de la tasa de mineralización del nitrógeno se obtiene mediante el método de incubación por el cual se mide la cantidad de nitrógeno mineral acumulado en una muestra que se almacena bajo condiciones normales de humedad y temperatura, durante un intervalo de seis semanas (Zöttl, 1960 a). Zöttl (1960 b) pudo demostrar que esta cantidad de nitrógeno mineral, expresada en términos de peso por hectárea, está bien correlacionada con el crecimiento de algunos rodales en Alemania.

Para determinar la tasa de mineralización de nitrógeno se tomaron muestras del horizonte A de las tres parcelas señaladas en el Cuadro 3 en junio de 1968. Los rodales de *Cupressus* de las parcelas tenían 15 años de edad y los respectivos índices de sitio eran 6, 12 y 18 metros. Se tomaron muestras de 10 huecos en cada parcela a la profundidad 0 — 5 cm., y de 5 cm. hasta el límite inferior del horizonte A. Se homogenizaron las muestras de los 10 huecos y se enviaron frescas al laboratorio donde se inició la incubación dos días después de la recolección. Los resultados se resumen en el Cuadro 3.⁽¹⁾ A pesar del muy alto contenido de nitrógeno total que varía desde 6 hasta más de 10 toneladas por ha., el nitrógeno mineralizado por ha. durante las seis semanas de incubación es sumamente bajo para todas las muestras cuando se compara con suelos de Europa Central, en donde los rodales de crecimiento intermedio y bueno alcanzan entre 10 y 65 kg/ha. de N-mineralizado. Valores tan bajos de nitrógeno mineralizado como los encontrados en las tres parcelas de Piedras Blancas (0.5; 3.4; y 6.7 kg/ha.), corresponden a los rodales de crecimiento más bajo examinados por Zöttl (1960 b).

Es interesante notar que el nitrógeno mineralizado para todo el horizonte A muestra una relación directa con el índice de sitio de las tres parcelas. Lo mismo vale para el carbono mineralizado. Desde luego tres parcelas no son suficientes para permitir generalizaciones, pero por lo menos los resultados de la incubación sostienen la hipótesis de que la materia orgánica en estos suelos se encuentra en una forma sumamente estable, con altas reservas pero bajísima disponibilidad del nitrógeno, y que el crecimiento de las plantaciones mejora de acuerdo con el aumento de la disponibilidad del nitrógeno.

(1) Se agradece al Prof. Dr. H. W. Zottl, Universidad de Hamburgo por estos análisis.

CUADRO 3

Resultados de la incubación de muestras del horizonte A de tres parcelas de *Cupressus*. (Las parcelas 6 y 7 corresponden a los lotes 8 y 7 respectivamente del Cuadro 4.)

	Parcela 6 IS = 7		Parcela 5 IS = 12		Parcela 7 IS = 18	
	Hor. A Superior	Hor. A Inferior	Hor. A Superior	Hor. A Inferior	Hor. A Superior	Hor. A Inferior
Espesor horizonte (cm.)	5.0	9.0	5.0	10.2	5.0	14.2
Total (cm)	(14.0)		(15.2)		(19.2)	
Densidad Aparente (g/cm ³)	0.48	0.49	0.45	0.48	0.48	0.65
N — total (%)	1.01	0.82	1.21	1.03	1.23	0.84
— total (%)	18.4	14.9	20.8	17.3	21.6	14.7
C/N	18.2	18.1	17.2	16.7	17.5	17.5
N — mineralizado en 6 semanas (% de N — total)	0.21	Tr.	0.54	0.39	0.42	0.71
mineralizado en 7 días (% de C—total)	0.79	0.55	1.03	0.41	0.94	0.56
Peso de suelo/ha (ton/ha)	242	437	224	491	258	925
N — total (ton /ha)	2.44	3.60	2.71	5.05	2.93	7.76
Total (ton/ha)	(6.04)		(7.76)		(10.69)	
C — total (ton /ha)	44.5	65.4	46.5	85.0	51.5	136.0
N — mineraliz. (kg/ha)	0.513	Tr.	1.46	1.97	1.23	5.50
Total (kg/ha)	(0.513)		(3.43)		(6.73)	
C — mineraliz. (kg/ha)	35.2	36.0	47.9	34.9	48.4	76.0
Total (kg/ha)	(71.2)		(82.8)		(124.4)	

3. LA HUMEDAD DEL SUELO

La estrecha relación que existe entre el crecimiento de las plantaciones de *Cupressus* por un lado y la pendiente y la concavidad o convexidad del terreno por el otro (Tschinkel, 1972 b), hace pensar inmediatamente en que el agua pueda ser el factor que seriamente limita el crecimiento. Sin embargo, esta relación no indica si el crecimiento deficiente es consecuencia de una escasez absoluta del agua en ciertas posiciones fisiográficas como p.e. las cuchillas y las pendientes fuertes, bien sea debido al excesivo escurrimiento superficial, al drenaje interno rápido del suelo, al suelo menos profundo o a otra razón. Tampoco indica si el crecimiento lento se debe a efectos indirectos del agua, tales como la lixiviación excesiva de nutrientes de las cuchillas o a un desarrollo diferente de los suelos sobre estos sitios. La identificación de la verdadera causa puede tener importantes implicaciones prácticas en cuanto al mejoramiento artificial de sitios de calidad inferior.

Con el fin de comprobar si la escasez de humedad del suelo durante la estación seca es el factor que limita el crecimiento sobre ciertas condiciones fisiográficas, se emprendieron mediciones periódicas del agua en el suelo, tanto en lugares donde el *Cupressus* crecía mal, como donde crecía bien.

Aunque se midió el contenido de humedad del suelo, se prestó mayor importancia a la medición de la tensión a la cual el suelo retiene el agua, puesto que esta tensión de la humedad del suelo (THS) tiene mayor significación ecológica.

3.1. *Método para medir la tensión de la humedad del suelo en el campo*

Hasta hace muy poco faltaba un método sencillo para medir la THS *in situ*. El método del papel de filtro ya descrito (McQueen y Miller, 1968) permite medir la THS en forma directa y fue el que se utilizó para determinar la THS que existe en suelos de varios lugares y profundidades y en diferentes épocas del año.

En la Estación Experimental de Piedras Blancas se escogieron varios lotes para medir periódicamente la tensión de la humedad del suelo. Se hizo la selección para incluir sitios de crecimiento malo y bueno de *Cupressus*, tanto con árboles jóvenes como con árboles mayores. El Cuadro 4 resume las características de los lotes seleccionados. Las mediciones se llevaron a cabo durante los meses de octubre de 1968 hasta mayo de 1969 y durante noviembre de 1969 hasta abril de 1970. Ambos períodos incluyen la estación seca (ver Cuadro 1). Por razones de accesibilidad tres de los lotes utilizados durante 1968-69 se sustituyeron con tres nuevos durante 1969-70. Aproximadamente cada dos o tres semanas se tomaron muestras de suelo en el campo en cada uno de seis lotes con un barreno perforador. En cada lote se perforaron tres huecos y se tomaron muestras a cuatro profundidades, dando así 72 muestras para procesar después de cada fecha de muestreo. Los tres huecos siempre se hicieron cerca a las perforaciones anteriores para reducir la variación. Durante el período

CUADRO 4

Características de los lotes en los cuales se midió la tensión de la humedad del suelo y también otras propiedades.

Los símbolos se refieren a la Fig. 2.

Lote	Símbolo	Forma topográfica	Altura domin. (m)	Edad en Julio 1970	Crecimiento	Localidad
Medidos durante 1968-69	◇	Cuchilla	7	14	malo (IS = 7)	"Buenvivista"
	×	Hondonada	21	16	bueno (IS = 21)	"Verapaz"
	◆	Hondonada	12	8	bueno (IS = 16)	"El Temprano"
Medidos durante 1969-70	●	Hondonada	7	5	bueno	"Quebraditas"
	○	Cuchilla	4	5	malo	"Quebraditas"
	△	Cuchilla	9	16	malo (IS = 8)	Este lote contiene el perfil 51
	▲	Hondonada	18	16	bueno (IS = 18)	Este lote contiene el perfil 56
	□	Cuchilla	7	16	malo (IS = 7)	"Lajas"
	■	Hondonada	17	16	bueno (IS = 17)	Este lote contiene el perfil 52

1968-69 se tomaron muestras a las profundidades 0-20 cm., 20-40 cm., 40-60 cm y 60-80 cm. Debido a la pequeña variación que se encontró en la THS por debajo de los 40 cm., las profundidades se cambiaron a las siguientes durante el período 1969-70: 0-5 cm., 5-10 cm., 10-20 cm., y 20-40 cm.

Parte de la muestra sacada con el barreno se colocó inmediatamente en una cajita metálica y el papel de filtro se metió en la mitad de la muestra. En esta forma se transportaron a una cámara de temperatura constante (20°C.) donde permanecieron durante una semana. Luego se siguió el procedimiento descrito por McQueen y Miller (1968) para así deducir la THS de la muestra (para detalles metodológicos véase Tschinkel, 1972 a).

3.2. *Variación de la tensión de humedad.*

Los resultados de las mediciones se resumen en las Figs. 2, 3 y 4. Las figuras 3 y 4 presentan promedios de la THS derivados de varias muestras individuales. Para calcular estos promedios se sumaron los logaritmos de los valores de THS, se dividieron por el número de valores, y se buscó el antilogaritmo. Se usó este método para computar los promedios porque tienen en cuenta mejor la naturaleza logarítmica del fenómeno de la THS. Es decir, la curva de calibración de McQueen y Miller (1968) entre el contenido de humedad del papel de filtro y la THS es una curva logarítmica. La variación de la THS en el campo y de las mediciones está relacionada con el logaritmo de la THS. Este método de promediar evita que valores ocasionalmente altos en la THS eleven excesivamente el promedio. Cuando hay poca variación entre las muestras individuales, los promedios aritméticos y logarítmicos son casi iguales.

Examinando primero los resultados del período 1968-69 (Fig. 2), se destaca el hecho de que superó una THS de 10 bares en solamente una ocasión, durante el 19 de febrero de 1969, para una profundidad de 0-20 cm. Ningún otro valor individual o promedio es mayor de 8.8 bares. Puesto que las plantas están en capacidad de extraer agua retenida con una tensión de hasta 15 bares (el punto de marchitamiento permanente), es de dudar que los árboles en los lugares examinados sufran de sequía. Se nota poca diferencia entre los diferentes lotes. Hay una tendencia a que la THS sea más alta durante los meses de enero a marzo, en la estación seca; sin embargo, esto se nota únicamente en el suelo superficial, y por debajo de 20 cm. el suelo permanece cerca a la capacidad de campo (igual a 0.2 ó 0.3 bares según la definición aceptada) durante todo el período. En la Fig. 3 se han combinado todos los lotes y se han dibujado isolíneas de la THS. Esta figura también incluye tanto la precipitación diaria como la mensual. La comparación de esta con el Cuadro 1 indica que se trata de dos estaciones secas un poco más intensas que el promedio.

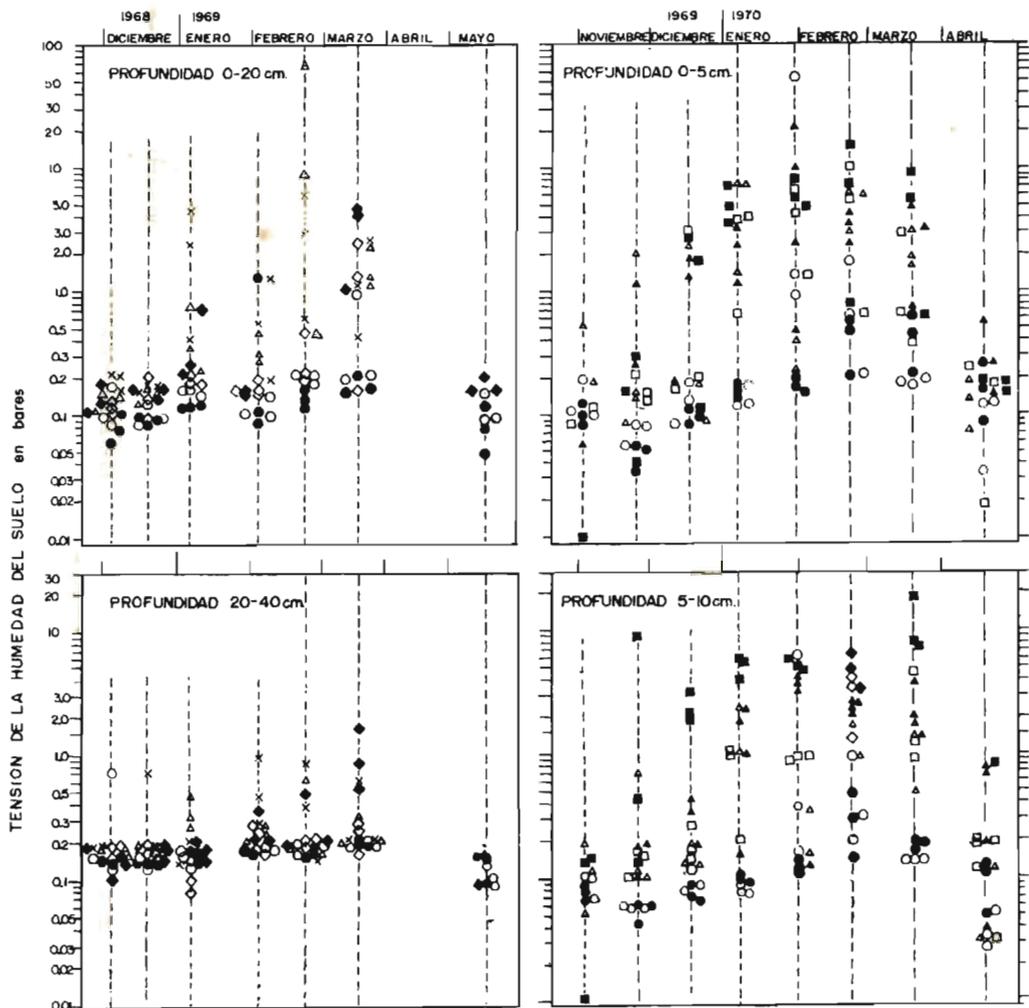


Fig. 2. Mediciones individuales de la tensión de la humedad en el suelo durante dos estaciones secas. Las cruces y los símbolos en blanco se refieren a lotes sobre cuchillas; los símbolos cerrados indican lotes en hondonadas. (Ver Cuadro 4).

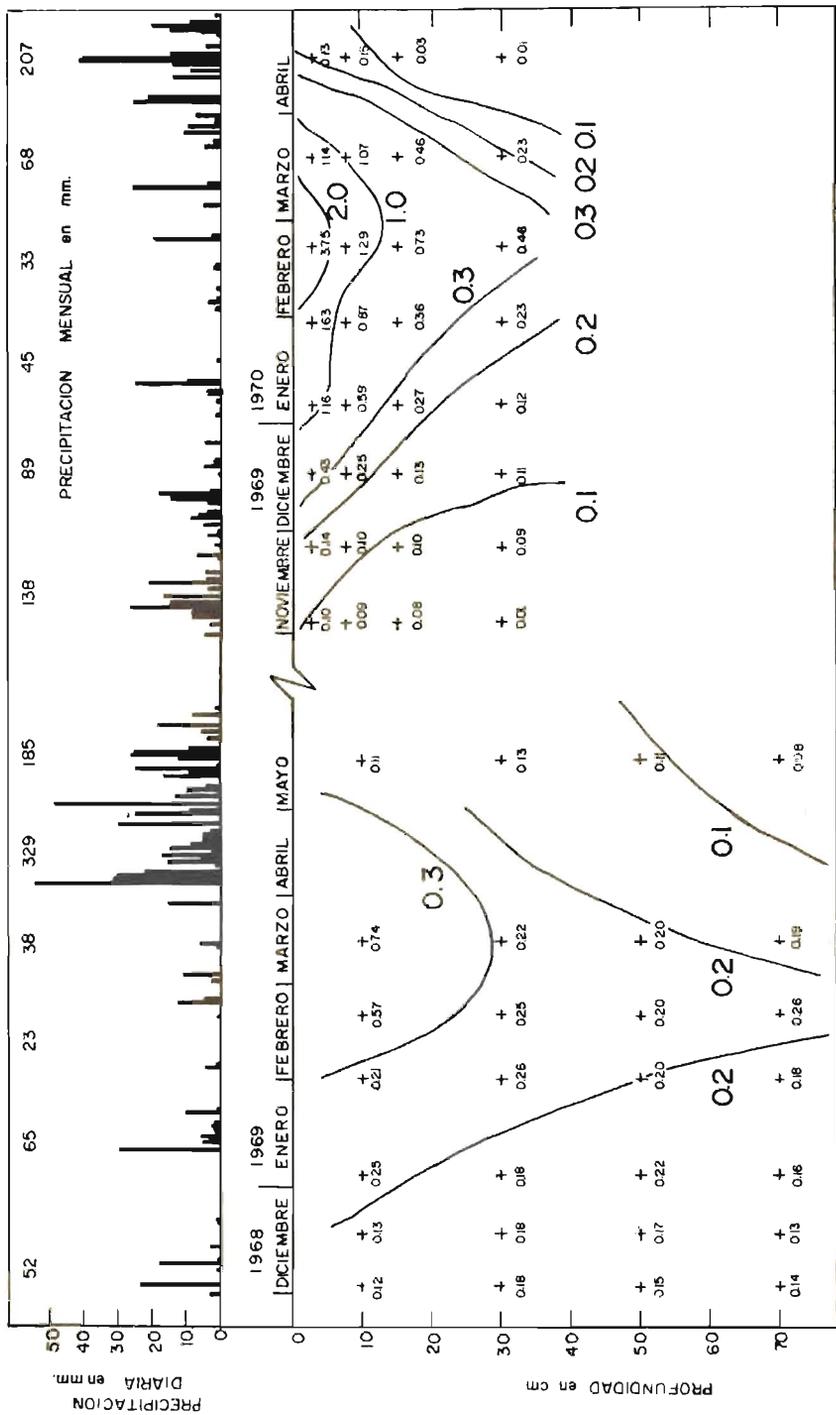


Fig. 3. Tensión de la humedad del suelo durante el año para varias profundidades. Las curvas son líneas de igual tensión en bares. Promedio de todos los lotes.

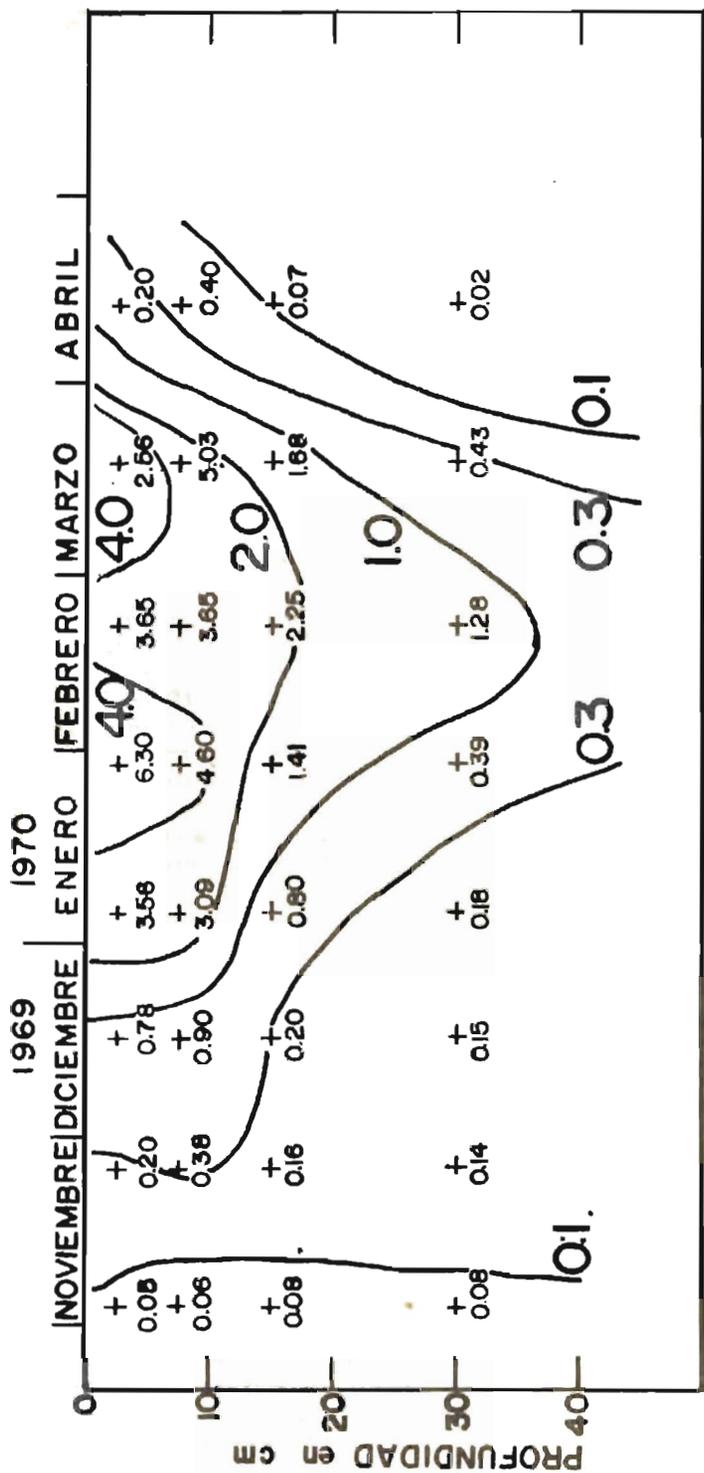


Fig. 4. Tensión de la humedad del suelo durante el año para varias profundidades. Las curvas son líneas de igual tensión en bares. Promedios de los dos lotes más secos. (Lotes 7 y 9).

Aunque esta experiencia del período 1968-69 demostró con bastante certeza que los árboles no sufren de una escasez de humedad en el suelo aún en los sitios de peor crecimiento, dejó abierta la posibilidad de que se seque una capa superficial del suelo, de unos 5 a 10 cms. La descomposición de la materia orgánica es más intensa en esta capa superficial, y el secamiento de ella posiblemente podría frenar la actividad de los microorganismos, especialmente de los que controlan la mineralización del nitrógeno, de tal manera que habría una deficiencia de nitrógeno asimilable en el suelo durante la estación seca. Las bajísimas tasas de mineralización de nitrógeno ya discutidas, así como la respuesta de plantaciones de *Cupressus* a la fertilización con nitrógeno, que se notaron durante este estado de las investigaciones, dieron más peso a esta hipótesis. Para probarla y también para confirmar las mediciones de la THS, se siguieron las mediciones durante 1969-70, pero esta vez restringiéndose a los 40 cm., superiores del suelo y tomando capas más delgadas.

La Fig. 2 incluye los resultados del período 1969-70 y aquí también, es notable que solamente tres mediciones individuales superan una tensión de 15 bares. Como era de esperarse, en ninguno de los lotes se encontró mucha variación en la THS durante el año a profundidades mayores de 10 cm. y por lo tanto, no se le ha incluido en la Fig. 2. Puesto que aún durante este período existió poca diferencia entre los seis lotes, también se los ha promediado para dibujar las isolíneas de la THS de la Fig. 3. Estas isolíneas concuerdan muy bien con las del primer período y muestran claramente que el secamiento es un fenómeno superficial y que por debajo de 30 cm. el suelo permanece cerca a la capacidad de campo durante todo el año. Las tensiones más altas se presentan durante los meses de febrero a marzo, pero se supera una tensión de 2.0 bares únicamente durante pocas semanas en la profundidad 0-5 cm. Las tensiones vuelven a bajar al iniciarse las lluvias al final de marzo.

Puesto que en ninguno de los lotes el promedio de la THS subió jamás por encima del punto de marchitamiento permanente, es de poca importancia tratar de establecer diferencias entre lotes. Sin embargo, para ilustrar el secamiento máximo que se puede esperar, se dibujaron isolíneas de la THS para los dos lotes que más se secaron durante 1969-70, o sea los lotes 7 y 9 (Fig. 4). El patrón de las líneas es muy parecido al de la Fig. 3, excepto que el secamiento alcanza profundidades mayores y que las tensiones en la capa superficial son ligeramente más altas. Se nota una pequeña disminución de las tensiones cerca a la superficie durante la última mitad de febrero de 1970 debido a varios días de lluvia.

Es importante notar que los dos lotes más secos (7 y 9) no son los de mal. sino de buen crecimiento, ambos ubicados en hondonadas. La causa probable de su mayor secamiento es porque sostienen el rodal con los árboles más altos, es decir, la mayor masa boscosa transpirante, y el secamiento probablemente no

- se debe a factores de relieve. La comparación de lotes sobre
- cuchillas y de mal crecimiento (lotes 3, 5 y 8) con el lote de
- aproximadamente la misma masa boscosa pero en la hondonada
- y de buen crecimiento (lote 2) (Fig. 2), indica que no hay una
- diferencia apreciable en la THS durante cualquier medición de
- 1969-70.

4. LA NUTRICION FORESTAL COMO FACTOR LIMITANTE PARA EL CRECIMIENTO

El suministro favorable de agua en las plantaciones y las buenas propiedades físicas del suelo hacen pensar que el factor limitante sea otro, posiblemente la deficiencia de ciertos elementos nutritivos. Las propiedades químicas del suelo que se han discutido sostienen esta hipótesis. Estas propiedades expresadas en base de *concentraciones* de nutrientes no muestran diferencias claras entre los perfiles; no obstante, parece que los *contenidos totales* de nitrógeno pueden afectar el crecimiento. Otros indicios de un problema nutricional son: la alta fijación del fósforo en los suelos, la alta respuesta de los cultivos agrícolas de la región a las aplicaciones de fósforo y finalmente la "quemazón" que se observa en forma de un color rojizo del follaje de árboles de mal crecimiento.

El método integral que se usó para identificar el factor nutricional limitante fue propuesto por Tamm (1964) y Laatsch (1967) y Zöttl y Tschinkel (1971), describen sus etapas. Consiste en buscar indicaciones a través de varias técnicas complementarias culminando en ensayos de fertilización en el campo con tratamientos diseñados para aislar la combinación de los factores nutricionales responsables.

4.1. *Síntomas de deficiencia.*

Se intentó reproducir los síntomas visuales de deficiencia de varios elementos nutritivos, en plántulas de *Cupressus lusitanica* en el invernadero, con el fin de poder identificar el elemento responsable de la "quemazón" del follaje encontrado en plantaciones de mal crecimiento, lo que también podría servir como base de consulta para casos similares en esta especie. Aunque se han descrito síntomas de deficiencia de nutrientes para muchas especies forestales (HacsKaylo *et al.* 1969, Leaf 1968) no se encontró ningún trabajo con referencia al *Cupressus lusitanica*.

El experimento lo iniciaron Jaramillo y Montoya (1968) y lo terminó el autor. Se cultivaron plántulas en el invernadero en macetas con arena de cuarzo lavado. Se regaron periódicamente con soluciones nutritivas Hoagland, siempre con un elemento faltante según el método corriente descrito por Müller (1964). Las soluciones aplicadas carecían en cada caso de uno solo de los elementos siguientes: N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, además de todos los elementos menores, en tanto que al testigo se le aplicaron soluciones completa. Además, se ensayó el efecto de la toxicidad del aluminio mediante la inclusión de una serie de concentraciones de $AlCl_3$ en combinación con la solución completa ajustán-

dola a un pH 3.5-4.0. Cada tratamiento se replicó con cuatro macetas, tres plántulas por maceta. Después de 14 meses se observaron deficiencias visuales en los tratamientos descritos a continuación¹:

Sin N: Crecimiento de la plántula muy reprimido, pocas ramas, escamas de tamaño normal. Todo el follaje igualmente verde-amarillento, el color más claro: 2.5 GY 7/6.

Sin P: Crecimiento reprimido, escamas de tamaño normal; yemas terminales y laterales comunmente en forma de roseta. Escamas jóvenes verde oscuras, tendiendo hacia moradas (2.5 R 7/2) para las escamas cerca al tallo. Las escamas más viejas necróticas.

Sin K: Crecimiento reprimido, escamas de tamaño reducido, casi todas las ramas "lloronas" especialmente las más antiguas. El amarillamiento que se inicia en el follaje más antiguo, llega hasta 5Y 8/4. Las escamas de la parte inferior de las ramas son las primeras en tornarse amarillentas. Necrosis que empieza a veces en las puntas y a veces en la base de las ramas. El tercio superior de la planta permanece casi verde, con excepción del tallo.

Sin Mg: Crecimiento casi normal. Síntomas no muy marcados. Amarillo oro (5 Y 7/6 hasta 5 Y 8/8) se inicia en las ramas más antiguas.

La identificación de la "quemazón" en el campo con la ayuda de estos resultados de invernadero se dificulta debido a la diferencia morfológica entre el follaje de las plántulas jóvenes y de los árboles maduros de esta especie. También existe la posibilidad de que los síntomas en el campo se deban a la deficiencia de dos o más elementos. A pesar de estas limitaciones, los síntomas que más se parecieron a la "quemazón" vista en el campo, fueron los causados por falta de fósforo. Los síntomas de deficiencia de fósforo se asemejaron mucho a las debidas a un exceso de aluminio, lo que es lógico, en vista de que el aluminio tiende a formar complejos insolubles con el fósforo tanto en la solución como en los tejidos.

4.2. *Ensayo de fertilización en el invernadero*

Aristizábal (1970) llevó a cabo un ensayo de fertilización en el invernadero con suelos de la región en estudio y con *C. lusitánica* como plántula indicadora. Utilizó suelos de tres calidades de

(1) Las fotografías y transparencias en colores de estos síntomas se pueden pedir al autor con cargo del interesado, a: 52 Fairview Terrace South Glastonbury, Connecticut 06073, EE. UU.

Para reproducciones en colores véase también Tschinkel y Zottl (1972).

sitio para el ciprés (índice de sitio 7, 13 y 17 metros), de dos horizontes y aplicó 10 tratamientos de fertilización, dando así un diseño factorial de $3 \times 2 \times 10$ con seis replicaciones. Aunque la interpretación de los resultados se complicó debido a interacciones significativas, concluyó que el crecimiento es muy superior en el horizonte A al del horizonte B. Los tratamientos de fertilización que no contenían fósforo, dieron respuesta nula o negativa, y al contrario, todas las combinaciones que tenían P respondieron en forma positiva.

La adición de K, Mg, y cal a la combinación NP no mejoró apreciablemente la respuesta indicando que NP es el tratamiento más apropiado para ensayos futuros. Las respuestas generalmente fueron pequeñas para calidades de sitio buenas, pero más grandes para sitios medios y malos progresivamente, implicando un abastecimiento adecuado de nutrientes en los primeros. Aunque los ensayos de invernadero dan indicios valiosos, estos deben corroborarse con ensayos de fertilización en el campo.

4.3. *Ensayos de fertilización en el campo*

Se establecieron dos ensayos de fertilización en el campo, pero para el primero desafortunadamente todavía no estaban disponibles los resultados del ensayo de fertilización en el invernadero. El ensayo "Buenavista"¹ incluye los seis tratamientos esbozados en el Cuadro 5, de los cuales el último, que contiene cal, se asignó a dos parcelas que se destacaron de las otras en cuanto a sus parámetros iniciales y por lo tanto no se incluye en el análisis estadístico. Se usó un diseño de bloques al azar con tres replicaciones, dos en la Estación de Piedras Blancas y la tercera en una cuenca vecina.

Se escogieron rodales de crecimiento extremadamente malo de aproximadamente 12 años de edad (índice de sitio aprox. 8 m.), con "quemazón" aguda. El área efectiva de cada parcela rectangular era 336 m² y en adición tenía un borde de 2 m. de ancho. Los fertilizantes se aplicaron en corona alrededor de cada árbol, en julio de 1968; la dosis de úrea se dividió en dos partes iguales y se aplicó la segunda mitad en septiembre de 1969. Se midieron los d.a.p. y las alturas de todos los árboles en abril de 1968, febrero de 1970 y abril de 1971, y se calcularon los parámetros resumidos en el Cuadro 6.

Para estimar el volumen se utilizó la tabla de volumen de Barrera (1964), de la cual se dedujo la siguiente ecuación:

(1) Experimento cooperativo entre el Departamento de Recursos Forestales, Universidad Nacional y la Secretaría de Agricultura de Antioquia.

$$V = 0.0088 + 0.00003 D^2H$$

En la cual:

V = volumen total del árbol con corteza en m³

D = d.a.p. del árbol en cm.

H = altura total del árbol en m.

Para el intervalo de abril de 1968. a febrero de 1970 se ajustó el crecimiento en volumen total por medio de análisis de covariancia (Cuadro 5) usando las dos variables independientes, área basal inicial y altura promedio inicial (Cuadro 6), para así eliminar diferencias iniciales entre parcelas. El Cuadro 5, muestra que el crecimiento en volumen ajustado de los tratamientos: Testigo, N, P, y KMg, varió entre 5.71 y 9.02 m³/ha. pero que ninguna de las diferencias entre estos tratamientos resultaron estadísticamente significativos al nivel de 95%. En cambio el tratamiento NPKMg resultó en un crecimiento de 18,99 m³/ha, o sea un aumento de 233% sobre el testigo. La diferencia entre este tratamiento y el testigo fue 13.3 m³/ha., o sea una diferencia significativa.

La interpretación del crecimiento durante el intervalo febrero de 1970 - abril de 1971 se complica debido a que un incendio destruyó la tercera replicación poco después de la medición de febrero de 1970. El análisis de covariancia no dió diferencias significativas por la disminución en los grados de libertad. Debido a que el análisis de covariancia para el primer intervalo no había cambiado en ningún sentido, la significancia de las diferencias en comparación con un análisis de variancia, se vio justificado utilizar un análisis de variancia para el segundo intervalo. Tal análisis dió resultados semejantes a los del primer intervalo: no había diferencia significativa entre los tratamientos: testigo, N, P, KMg al nivel de 95%. El crecimiento del tratamiento NPKMg fue 17.83 m³/ha., un aumento de 12.7 m³/ha., o sea 250% sobre el testigo, el cual sí fue significativo. Estos resultados fueron confirmados por la prueba de "t" para parcelas no emparejadas. En la Fig. 5 se resume este crecimiento en volumen con base a crecimiento anual. No es posible decir con certeza que la adición de cal, a NPKMg causó o no un aumento en el crecimiento por no ser estas parcelas inicialmente comparables, pero evidentemente el efecto no es grande.

De estos resultados se puede concluir que el factor que limita el crecimiento de las plantaciones estancadas de *Cupressus* en la región, es una deficiencia nutricional que puede remediarse por la aplicación de los elementos NPKMg en conjunto, los cuales causan un aumento espectacular en el crecimiento. Ninguno de estos elementos individualmente mejora significativamente el cre-

CRECIMIENTO ANUAL EN VOLUMEN
en m³/ha.

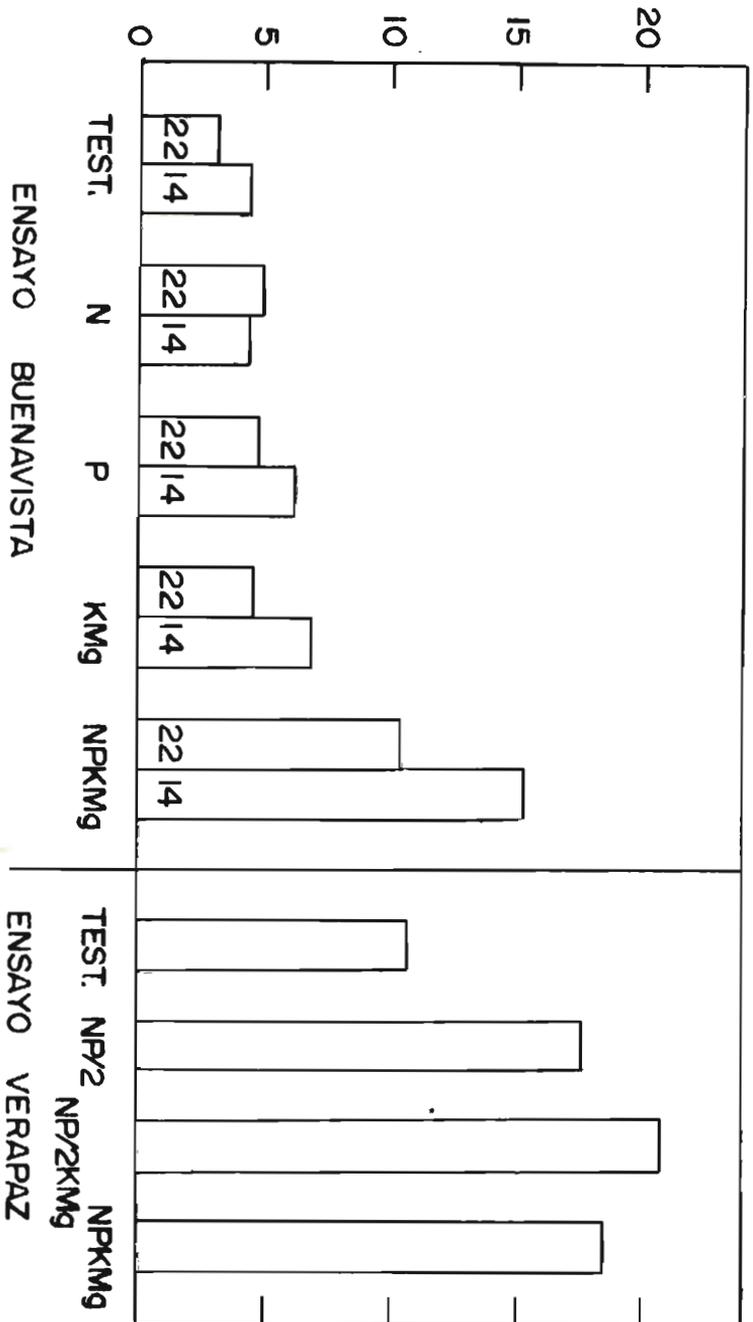


Fig. 5. Crecimiento anual en volumen de los dos ensayos de fertilización. Las barras señaladas con 22 se refieren a los 22 meses entre abril 1968 y febrero 1970; las señaladas con 14 se refieren a los 14 meses entre febrero 1970 y marzo 1971.

CUADRO 5

El crecimiento en volumen total por hectárea del ensayo de fertilización "Buenavista". Para el intervalo Abril 1968 — Febrero 1970 se incluyen los promedios ajustados por medio de análisis de covarianza con sus límites de confianza de 95%.

TRATAMIENTO	BLOQUE	CRECIMIENTO EN VOLUMEN		(m ³ /ha) TOTAL
		Abril 1968 Febr. 1970 (22 meses)	Febr. 1970 Abril 1971 (14 meses)	Abril 1968 Abril 1971 (3 años)
TESTIGO	I	8.64	5.41	14.05
	II	7.26	4.85	12.11
	III	2.07	—	—
	Prom.	5.99	5.13	11.12
	Prom. Ajus.	5.71 ± 1.80	—	—
N (150 Kg N/ha = 325 Kg urea/ha)	I	9.48	6.61	16.09
	II	6.90	3.65	10.55
	III	4.68	—	—
	Prom.	7.02	5.13	12.15
	Prom. Ajus.	9.02 ± 1.83	—	—
P (200 Kg P/ha = 1000 Kg super- fosfato triple/ha)	I	13.42	9.10	22.52
	II	7.54	5.41	12.95
	III	9.64	—	—
	Prom.	10.20	7.25	17.45
	Prom. Ajus.	8.74 ± 1.81	—	—
KMg (69 Kg K + 131 Kg Mg/ha = 714 kg K ₂ SO ₄ . MgSO ₄ /ha)	I	12.65	9.04	21.69
	II	8.74	6.92	15.66
	III	3.14	—	—
	Prom.	8.18	7.98	16.16
	Prom. Ajus.	8.38 ± 1.92	—	—
NPKMg (Suma de los trata- mientos individuales)	I	24.63	23.85	48.48
	II	16.29	11.82	28.11
	III	17.48	—	—
	Prom.	19.47	17.83	37.30
	Prom. Ajus.	18.99 ± 1.83	—	—
NPKMg + 2.000 kg cal agrícola	I	26.39	30.26	56.65
	II	14.65	17.12	31.77
	Prom.	20.52	23.69	44.21

CUADRO 6

Ensayo de fertilización "Buenavista". Variables de las parcelas para las tres fechas de medición. (El d.a.p. promedio se calculó con base en el árbol de área basal promedio. La altura de dominantes es la altura promedio de los 250 árboles de mayor d.a.p. por ha.)

Tratamiento	Bloque	Nº Arboles ha	ALTURA DOMINANTES (m)			ALTURA PROMEDIO (m)			D.A.P. (cm)			PROM.			AREA BASAL (m ² /ha)			VOLUMEN TOTAL (m ³ /ha)		
			Abril 1968	Febr. 1970	Abril 1971	Abril 1968	Febr. 1970	Abril 1971	Abril 1968	Febr. 1970	Abril 1971	Abril 1968	Febr. 1970	Abril 1971	Abril 1968	Febr. 1970	Abril 1971	Abril 1968	Febr. 1970	Abril 1971
TESTIGO	I	2381	7.1	8.1	8.7	5.3	6.3	6.7	4.1	4.7	5.0	6.17	8.16	9.41	35.9	44.2	49.6			
	II	2143	7.2	8.2	8.8	5.2	6.1	6.4	3.9	4.6	5.0	5.01	6.99	8.25	30.7	38.1	43.0			
	III	2351	5.2	5.7	—	3.6	4.0	—	2.6	3.0	—	2.42	3.27	—	24.9	26.9	—			
N	I	1994	7.2	8.8	9.7	4.5	5.8	6.4	3.6	4.6	5.1	4.07	6.56	8.16	27.1	36.6	43.2			
	II	1607	6.8	8.0	8.6	4.8	6.0	6.4	3.2	4.4	4.8	2.68	4.81	5.86	20.1	27.0	30.6			
	III	2351	7.0	8.1	—	4.6	5.4	—	3.0	3.6	—	3.45	4.88	—	28.2	32.8	—			
P	I	2649	8.5	9.9	10.5	5.7	7.1	7.6	4.4	5.1	5.5	7.90	10.84	12.80	43.8	57.2	66.3			
	II	1756	6.9	8.3	8.8	5.0	6.5	6.9	3.4	4.3	5.0	3.11	5.19	6.83	22.5	30.2	35.6			
	III	2649	8.3	10.0	—	4.9	6.2	—	3.6	4.3	—	5.54	7.71	—	36.8	46.5	—			
KMg	I	2292	8.8	9.9	10.5	6.4	7.4	8.0	4.9	5.6	6.0	8.58	11.26	13.06	45.4	58.3	67.3			
	II	1518	9.6	10.7	11.3	6.8	7.9	8.5	4.4	5.2	5.8	4.75	6.58	8.00	29.3	37.2	44.2			
	III	2143	5.7	6.5	—	3.7	4.4	—	2.4	3.1	—	1.96	3.23	—	22.1	25.2	—			
NPKMg	I	2470	8.6	10.5	11.4	5.0	7.1	7.9	4.0	5.6	6.7	6.32	12.29	17.55	39.0	63.7	87.5			
	II	1934	6.8	8.8	9.6	4.7	6.7	7.4	3.4	5.2	6.1	3.56	8.22	11.26	24.8	41.1	52.9			
	III	2917	6.5	9.1	—	4.0	6.4	—	2.8	4.3	—	3.74	8.61	—	33.3	50.8	—			
NPKMg +cal	I	2202	9.4	11.0	12.2	7.2	8.8	9.5	5.8	6.9	8.0	11.67	16.35	22.23	57.1	83.5	113.8			
	II	1071	9.1	10.8	11.8	6.8	8.5	9.4	5.2	6.9	8.3	4.67	7.97	11.61	24.7	38.8	55.9			

cimiento. El efecto favorable de la fertilización con NPKMg de ninguna manera disminuye después de dos años; al contrario, el crecimiento de volumen en el tercer año tiende a ser mayor que el crecimiento anual durante los primeros dos (Fig. 5). Sin embargo, queda abierto el interrogante de si una de las combinaciones NP, PKMg, o NKMg podría tener efecto semejante al de la combinación completa.

Este interrogante en parte fue el origen del segundo ensayo de fertilización "Verapaz". Este ensayo además trató de determinar la respuesta al disminuir la dosis de fósforo a la mitad. Se escogió un rodal de 15 años de edad pero de crecimiento medio, índice de sitio aproximadamente 13 m., para así probar si estos rodales responden mejor que los de crecimiento extremadamente malo usados en el primer ensayo. Se utilizó un diseño de bloques al azar con los cuatro tratamientos indicados en el Cuadro 7 y con dos replicaciones. El área efectiva de cada parcela era de 336 m² con un borde de 3 m. de ancho. Los fertilizantes se aplicaron en corona alrededor de cada árbol en septiembre de 1969. La dosis de úrea se dividió en dos partes, la segunda mitad se aplicó en octubre de 1970. En septiembre de 1969 y en marzo de 1971 se midieron los d.a.p. de todos los árboles y las alturas totales de 25 árboles por parcela, inclusive la de los árboles dominantes. Todos los cálculos se hicieron con los programas para computador, publicados por John y Tschinkel (1971) y los resultados se resumen en el Cuadro 8. Los detalles adicionales sobre el ensayo los describen Zöttl y Tschinkel (1971).

El análisis de variancia del crecimiento bruto en volumen (Cuadro 7) indicó un efecto significativo de los tratamientos, lo mismo que la diferencia entre el crecimiento del testigo y el conjunto de los otros tres tratamientos [$(26.56 + 31.12 + 27.60) / 3 - 15.52 = 12.9 \text{ m}^3/\text{ha}$] resultó significativa al 95%. La diferencia del crecimiento del testigo en comparación con el tratamiento más económico N (P/2), $(26.56 - 15.52 = 11.0 \text{ m}^3/\text{ha})$ también fue igualmente significativa. No se encontró una diferencia significativa entre ninguno de los tres tratamientos con fertilizante.

En cuanto al crecimiento en volumen del ensayo "Verapaz", durante los primeros 18 meses después de fertilizar (Fig. 5), se puede concluir que: 1) Todos los tratamientos de fertilización en conjunto causaron un aumento significativo del crecimiento. 2) Ninguno de los tratamientos con fertilizante se distingue entre sí en cuanto a su respuesta. Sin embargo queda la posibilidad de que a largo plazo la dosis más alta de fósforo llevará ventaja sobre la dosis P/2. 3) La adición de K y Mg a la combinación de nitrógeno y fósforo no aumentó significativamente el crecimiento y puede eliminarse en ensayos futuros. 4) El tratamiento más económico N (P/2) causó que el crecimiento excediera en 11.0 m³/ha. el crecimiento del testigo (15.52 m³/ha.), lo que equivale a un aumento significativo del 71%.

CUADRO 7

El crecimiento en volumen total por hectárea del ensayo de Fertilización "Verapaz"

TRATAMIENTO	BLOQUE	CRECIMIENTO EN VOLUMEN (m ³ /ha)
		Sept. 1969 - Marzo 1971
TESTIGO	I	17.99
	II	13.05
	Prom.	15.52
N (P/2) (150 kgN, 100kgP/ha)	I	27.24
	II	25.89
	Prom.	26.56
N (P/2) KMg (150 kgN, 100kgP 69 kgK, 131kgMg/ha)	I	35.58
	II	26.65
	Prom.	31.12
NPKMg (150 kgN, 200 kgP 69 kgK, 131 kg Mg/ha)	I	31.19
	II	24.01
	Prom.	27.60

Dosis de los tratamientos:

150 kg N = 323 kg úrea/ha.

100 kg P = 500 kg superfosfato triple/ha.

200 kg P = 1.000 kg superfosfato triple/ha.

69 kg K = }
131 kg Mg = } 714 kg K₂SO₄ + MgSO₄ /ha.

CUADRO 8

Ensayo de la fertilización "Verapaz". Variables de las parcelas para las dos fechas dadas de medición. (El d.a.p. promedio se calculó con base en el árbol de área basal promedio. La altura de dominantes es la altura promedio de los 250 árboles de mayor d.a.p. por hectárea).

TRATAMIENTO	BLOQUE	N° Arboles/ ha	ALTURA DOMINANTES (m)		D.A.P. (cm)		AREA BASAL (m ² /ha.)		VOLUMEN TOTAL (m ³ /ha.)	
			Sept. 1969	Marzo 1971	Sept. 1969	Marzo 1971	Sept. 1969	Marzo 1971	Sept. 1969	Marzo 1971
TESTIGO	I	1636	14.2	14.9	12.1	13.0	18.85	21.85	105.11	123.11
	II	1874	11.3	12.0	10.6	11.3	16.51	18.93	89.37	102.42
N (P/2)	I	1994	13.7	14.2	11.4	12.7	20.55	25.24	114.01	141.25
	II	1994	12.3	13.3	10.6	12.0	17.77	22.51	96.17	122.06
N (P/2) KMG	I	2172	14.4	15.5	11.3	12.8	21.94	28.07	118.03	153.62
	II	2380	12.2	13.7	9.8	11.0	17.78	22.81	98.64	125.29
NPKMG	I	1815	13.6	15.1	12.0	13.5	20.66	26.02	110.60	141.80
	II	1904	11.9	13.1	12.3	13.3	22.69	26.65	124.18	148.20

El tiempo es muy corto para comprobar si los rodales de índice de sitio intermedio como el de "Verapaz" dan una mayor respuesta a la fertilización que los rodales de índice de sitio muy bajo, como el de "Buenavista" (Fig. 5). Sin embargo, se tiene una idea aproximada si se compara el aumento del crecimiento bruto en volumen por año debido a NPKMg durante el primer intervalo de los dos ensayos.

Buenavista: $(19.47 - 5.99) / (22/12) = 7.3 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

Verapaz: $(27.60 - 15.52) / (18./12) = 8.1. \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$.

Evidentemente, durante los primeros dos años aproximadamente ambos tipos de rodales responden casi igual a la fertilización con NPKMg. Sin embargo, es importante notar que en el ensayo "Verapaz" este volumen adicional se encuentra en los árboles de mayores dimensiones con obvias ventajas económicas.

4.4. *Análisis foliar*

Muchas investigaciones han demostrado la utilidad del análisis químico del follaje de árboles forestales para determinar el estado nutricional de rodales. Wehrman (1963) y Tamm (1964) revisaron muchas aplicaciones forestales y van Goor (1965), Finck (1963) y Zöttl y Tschinkel (1971), presentan ejemplos de aplicaciones del método a regiones tropicales. La mayoría de los autores concuerdan en que generalmente el análisis foliar da indicios más acertados sobre posibles deficiencias nutricionales de los árboles que el análisis químico del suelo, siempre y cuando haya cifras guías ya establecidas para la especie en cuestión.

Puesto que la concentración de los nutrientes en el follaje varía de un árbol a otro, según la época del año, y según la posición del follaje sobre el árbol, la normalización es primordial para que los resultados sean comparables. Zöttl y Tschinkel (1971), resumen las normas que generalmente deben seguirse. Para la aplicación local a plantaciones de *Cupressus lusitanica* se presentaron dos interrogantes especiales: Primero, durante cuál época del año se diferencian mejor los resultados del análisis foliar de árboles bien y mal nutridos, y segundo, de qué posición sobre las ramas deben recolectarse las muestras. En regiones templadas, con las estaciones bien marcadas, hay mucha experiencia para contestar a la primera pregunta, pero esta experiencia falta en el trópico. Por lo tanto, se efectuaron recolecciones del follaje para explorar la variación de la concentración de los nutrientes durante el año. En cuanto a la segunda pregunta, se conoce que la concentración varía según la edad del follaje y por lo tanto se procura recolectar hojas o agujas de edad comparable, lo que es relativamente fácil de determinar en zonas templadas, pero difícil en árboles que crecen en el trópico. A esta dificultad se suma el hecho de que el follaje de *Cupressus* consiste de escamas, de tal manera que no es práctico separar las escamas (hojas) de las ramas y el análisis se hace de la mezcla de los dos tejidos. En la literatura se encontró solamente un caso (*Araucaria angustifolia*; van Goor 1965), en el cual se habían analizado árboles con escamas. Debido a estos dos problemas es especialmente difícil contestar el segundo interrogante, por lo cual sim-

plemente se optó por usar un método provisional, el cual tal vez no sería el más adecuado, pero que por lo menos permite comparar los diferentes resultados. Mientras tanto, se están adelantando investigaciones metodológicas. El método seguido fue el siguiente:

En cada parcela se recogieron muestras compuestas de follaje de 10 árboles dominantes durante el mes de marzo, final de la estación seca. Se denominaron como ramas secundarias aquellas que salen directamente del fuste del árbol y ramas terciarias las que salen de las secundarias. Entonces se recolectaron de cada árbol dos ramas secundarias entre uno y tres metros de la punta del árbol. En el laboratorio, se arrancaron las puntas de las ramas secundarias, terciarias y cuaternarias con los dedos, teniendo la precaución de no usar nunca una punta más larga de 2 cm. La razón de esto era que los 2 cm. extremos de cada rama representan el crecimiento de los últimos pocos meses, y que por lo tanto sus edades serían aproximadamente comparables. En esta forma para cada parcela se juntaron entre 50 y 100 gramos de follaje fresco, el cual se secó a 80°C. en un horno ventilado. En el laboratorio se determinaron los contenidos totales de los elementos N, P, K, Mg y Ca los cuales se expresaron como porcentaje con base en el peso seco del follaje.¹

4.4.1. *Variación anual de la concentración de nutrientes en el follaje.*

Con el objeto ya mencionado de determinar cómo varían las concentraciones de nutrientes de los rodales durante el año, para así fijar la época más propicia en la cual se distinguen los rodales bien y mal nutridos, se recogieron muestras de follaje de tres parcelas de *Cupressus*, a intervalos de un mes durante un año. Estas tres parcelas corresponden a los lotes 5, 6 y 9 del Cuadro 4. Se recogieron y prepararon las muestras de la manera descrita anteriormente. Para evitar que la remoción de un número excesivo de ramas secundarias sobre el mismo árbol influyera en su crecimiento y por lo tanto en su estado de nutrición, gradualmente se cambiaron uno o dos árboles durante cada fecha de recolección. Los resultados se presentan en la Fig. 6.

Se observa que la concentración de casi todos los elementos se mantiene bastante estable durante el año y no se nota una periodicidad marcada. El nitrógeno y el fósforo son los dos elementos que más varían, principalmente en el Lote 6, el rodal más joven, de crecimiento rápido. Sin embargo, entre abril y septiembre no hay ninguna indicación de que los otros dos lotes sigan paralelos al Lote 6. Desafortunadamente durante ninguna época del año se distinguen bien los Lotes 5 y 9 en cuanto a sus concentraciones de N y P, a pesar de que su crecimiento es muy diferente. Con base en las tendencias mostradas se puede concluir que cualquier mes entre marzo y agosto es igual-

(1) Se agradece al Prof. Dr. H. W. Zottl, de la Universidad de Hamburgo, por todos los análisis de follaje presentados aquí.

CONCENTRACION EN EL FOLLAJE en % de peso seco

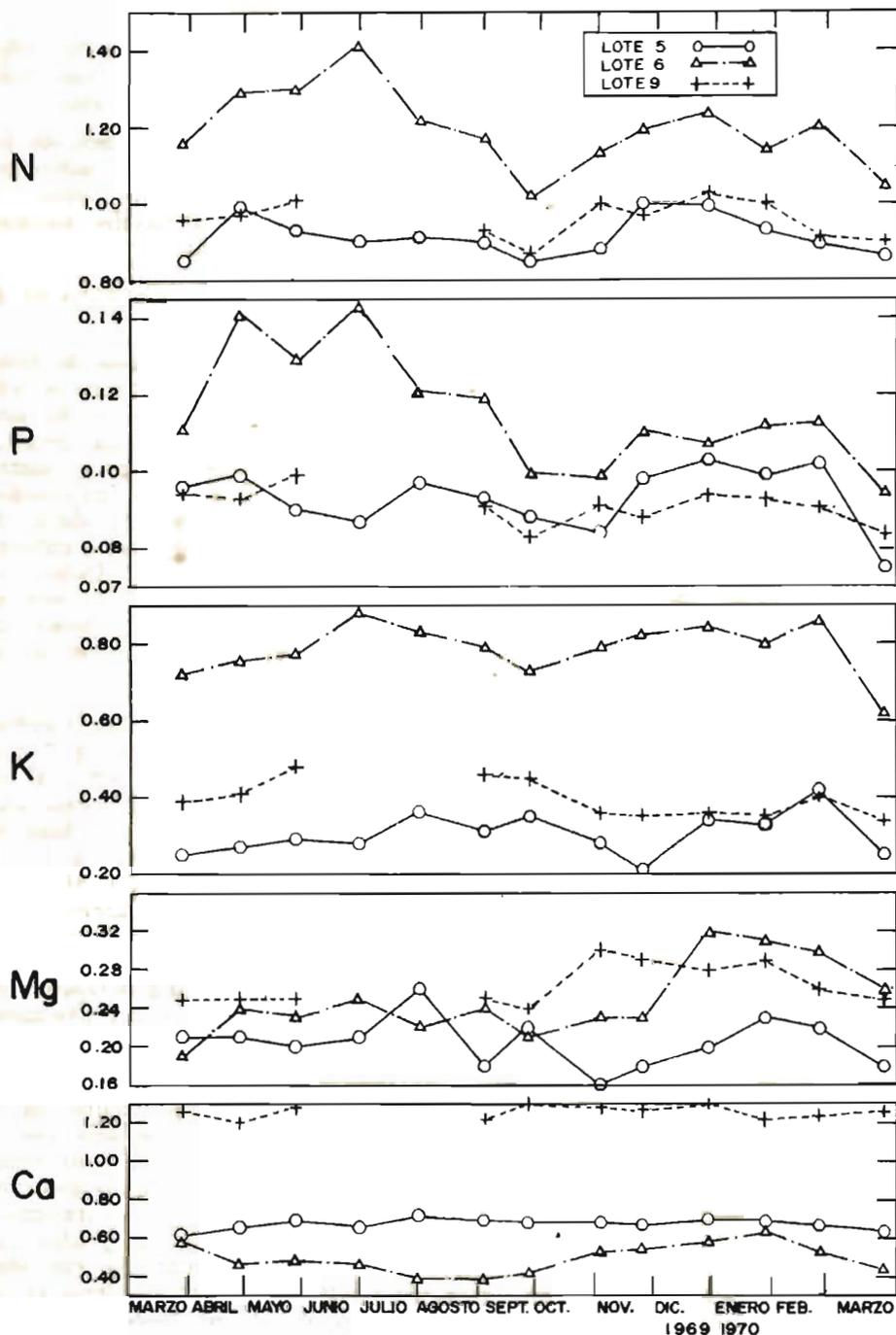


Fig. 6. Variación anual en las concentraciones de varios elementos en el follaje de *Cupressus lusitanica*. (Ver cuadro 4).

Lote 5: Índice de sitio = 8 m; alt. dom. = 9 m; edad = 16 años

Lote 6: Índice de sitio = 18 m; alt. dom. = 12 m; edad = 8 años

Lote 9: Índice de sitio = 17 m; alt. dom. = 17 m; edad = 16 años

mente apto para diferenciar el estado nutricional entre los rodales, debido a que las curvas para N, P y K tienden a estar más separadas durante esta época, que durante el resto del año.

Es notable observar cómo en cada lote las concentraciones de N, P y K varían casi siempre paralelas unas a otras, indicando cambios balanceados en el estado nutricional de los árboles o simplemente errores de muestreo, es decir, la colección accidental de follaje de un estado de nutrición diferente.

4.4.2. *Efecto de la fertilización sobre el contenido de nutrientes en el follaje.*

Se recolectaron muestras del follaje de los dos ensayos de fertilización durante el mes de marzo por tres años consecutivos, utilizando la técnica descrita anteriormente. Los objetivos de esta investigación fueron: 1) Determinar cuáles nutrientes posiblemente se encuentran cerca al nivel de deficiencia y cuanto aumenta su concentración en el follaje con una fertilización abundante, lo mismo que por cuánto tiempo dura el efecto de la fertilización. 2) Relacionar la concentración de ciertos nutrientes en el follaje con el crecimiento de los árboles. 3) Indicar en caso de la falta de una respuesta a la fertilización, si ésta se debe a la fijación de cierto elemento del fertilizante aplicado en el suelo, o a la deficiencia de un elemento no incluido en el fertilizante.

Los resultados del análisis foliar se presentan en los Cuadros 9 y 10 para los ensayos de fertilización "Buenavista" y "Verapaz", respectivamente. Aunque las especies varían entre sí en cuanto a sus requisitos de un nutriente para el crecimiento adecuado, se pueden estimar límites para el *Cupressus* con base en otras especies citadas en la literatura. Tal comparación indica que definitivamente las concentraciones de Mg y Ca y probablemente las de K encontradas en las parcelas de *Cupressus* sin fertilizar, están muy por encima del nivel de deficiencia encontrado para otras coníferas. En cambio las concentraciones de N y especialmente de P hacen sospechar que el abastecimiento de estos dos elementos es insuficiente para un crecimiento adecuado.

Las Figuras 7 y 8 (derivadas de los Cuadros 9 y 10) muestran las concentraciones de nitrógeno y fósforo para los ensayos Buenavista Verapaz. Examinando primero la concentración de N (Fig. 7) en el follaje del ensayo "Buenavista", se nota que en cada tratamiento que incluyó nitrógeno aumentó apreciablemente la concentración de este elemento en el follaje en comparación con el testigo durante marzo de 1969, mientras que los tratamientos KMg y P no causaron casi ningún cambio. La notable disminución de la concentración de nitrógeno durante los tres años para los tratamientos NPKMg y NPKMg + cal confirma el conocido efecto breve de la fertilización con nitrógeno. Es interesante observar que durante el mismo tiempo la concentración de nitrógeno en el tratamiento N disminuye muy poco. Debe recordarse que este tratamiento no dió respuesta en cuanto al crecimiento, mientras que los tratamientos NPKMg y NPKMg + cal

CUADRO 9

Concentración de los nutrientes en el follaje del ensayo de fertilización "Buenavista".
 Fecha de fertilización: Julio de 1968. Follaje recogido en marzo.

Concentración del elemento en porcentaje.

TRATAMIENTO	BLOQUE	N			P			K			Mg			Ca		
		1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971	1969	1970	1971
Testigo	I	0.90	0.98	0.95	0.070	0.122	0.083	0.49	0.47	0.45	0.20	0.17	0.15	1.04	0.89	0.87
	II	0.88	0.92	0.89	0.073	0.108	0.061	0.60	0.77	0.45	0.26	0.19	0.18	1.34	1.12	1.25
	III	0.77	—	—	0.047	—	—	0.65	—	—	0.34	—	—	0.74	—	—
N	I	1.08	1.28	1.12	0.066	0.109	0.065	0.65	0.75	0.61	0.20	0.17	0.20	0.88	0.92	1.06
	II	1.19	1.21	1.05	0.080	0.126	0.075	0.75	0.64	0.42	0.20	0.18	0.17	0.79	0.67	0.80
	III	1.12	—	—	0.061	—	—	0.68	—	—	0.33	—	—	0.71	—	—
P	I	0.90	0.98	1.20	0.170	0.297	0.326	0.30	0.21	0.34	0.18	0.09	0.11	1.00	0.91	0.91
	II	0.97	0.82	0.94	0.140	0.200	0.148	0.47	0.34	0.43	0.28	0.15	0.17	1.34	0.97	1.02
	III	0.85	—	—	0.110	—	—	0.70	—	—	0.39	—	—	0.71	—	—
KMg	I	0.90	0.93	0.91	0.070	0.110	0.063	0.80	0.90	0.66	0.26	0.21	0.24	0.90	0.75	0.86
	II	1.02	0.96	0.93	0.075	0.109	0.096	0.83	0.70	0.59	0.25	0.22	0.21	0.79	0.69	0.88
	III	0.87	—	—	0.061	—	—	0.85	—	—	0.32	—	—	0.78	—	—
NPKMg	I	1.16	1.11	0.99	0.180	0.230	0.174	0.82	0.79	0.65	0.23	0.18	0.20	0.68	0.60	0.67
	II	1.04	0.91	0.90	0.160	0.191	0.171	0.80	0.51	0.47	0.22	0.17	0.18	0.63	0.52	0.67
	III	1.23	—	—	0.210	—	—	0.80	—	—	0.34	—	—	0.55	—	—
NPKMg + cal	I	1.10	1.19	1.04	0.140	0.213	0.235	0.81	0.82	0.67	0.23	0.16	0.17	1.08	0.72	0.98
	II	1.10	1.08	0.96	0.120	0.183	0.144	0.82	0.61	0.48	0.25	0.18	0.17	0.90	0.45	0.67

CUADRO 10

Concentración de los nutrientes en el follaje del ensayo de fertilización "Verapaz".

Fecha de fertilización: Septiembre, 1969. Follaje recogido en marzo.

Concentración del elemento en porcentaje.

TRATAMIENTO	BLOQUE	N		P		K		Mg		Ca	
		1970	1971	1970	1971	1970	1971	1970	1971	1970	1971
Testigo	I	0.88	1.01	0.112	0.130	0.46	0.55	0.17	0.21	0.84	0.92
	II	0.96	1.02	0.141	0.094	0.19	0.32	0.26	0.25	0.77	0.95
N (P/2)	I	0.97	1.17	0.145	0.166	0.47	0.64	0.18	0.17	1.08	1.04
	II	1.07	1.28	0.147	0.164	0.34	0.44	0.22	0.22	0.72	0.66
N (P/2) KMg	I	1.22	1.39	0.165	0.166	0.89	0.93	0.27	0.27	0.69	0.49
	II	1.19	1.32	0.158	0.162	0.80	0.87	0.20	0.22	1.00	0.79
NPKMg	I	1.11	1.26	0.112	0.158	0.79	0.89	0.24	0.27	0.82	0.78
	II	0.94	1.25	0.093	0.192	0.69	0.78	0.18	0.21	1.33	0.91

dieron una respuesta muy marcada. Por lo tanto, la formación de nuevos tejidos y consecuentemente la necesidad de nitrógeno, son muy altos en éstos, por lo cual la concentración de nitrógeno, es decir, la cantidad de nitrógeno por unidad de peso seco del follaje, tiende a disminuir. El crecimiento mucho más lento del tratamiento N no trae como consecuencia casi ningún cambio en la concentración de nitrógeno. En el ensayo Verapaz, cada tratamiento de fertilización contenía N, y por lo tanto en marzo 1971, las concentraciones de nitrógeno en el follaje de todos ellos se encontraron muy por encima de las de los testigos. Es de esperar que las concentraciones de nitrógeno en Verapaz, también bajen durante los próximos dos años.

La Figura 8 indica que los tratamientos en Buenavista que no contenían P, es decir N y KMg, no causaron cambio en la concentración de fósforo en el follaje de comparación con el testigo. En cambio los otros tres tratamientos, que sí incluyeron fósforo, aumentaron la concentración de este elemento en el follaje considerable. Esta concentración no disminuye con el tiempo como es el caso del nitrógeno. En el ensayo Verapaz, casi no hay aumento de la concentración de fósforo en marzo de 1970, debido probablemente a que los pocos meses transcurridos desde la fertilización no han sido suficientes para permitir la asimilación de este elemento, la cual normalmente es más lenta que la del nitrógeno. Aún en marzo de 1971 este ensayo no muestra un aumento en comparación con el testigo, tan marcado como en Buenavista.

Los Cuadros 9 y 10 indican que la aplicación de K en el fertilizante también tiende a aumentar la concentración de este elemento en el follaje, pero aparentemente ya se acerca al "consumo de lujo". La fertilización con Mg no causa ningún cambio en la concentración. En cambio la aplicación de fertilizantes con calcio, superfosfato triple y cal, tienden a disminuir la concentración de calcio en el follaje, aparentemente por el efecto de dilución.

Considerando en conjunto las Figuras 7 y 8, y la respuesta de los dos ensayos de fertilización, se puede concluir que los árboles asimilan tanto el nitrógeno como el fósforo que se aplica con los fertilizantes. En el tratamiento N, la concentración de nitrógeno en el follaje aumenta a niveles adecuados para el buen crecimiento pero la escasez de fósforo inhibe la respuesta. En el tratamiento P ocurre lo contrario, la concentración de fósforo es adecuada, pero la de nitrógeno es deficiente. Únicamente aquellos tratamientos que causan un aumento apreciable de las concentraciones de ambos elementos aumentan el crecimiento.

La Fig. 9 confirma lo anterior, al mostrar la estrecha relación que existe entre la concentración de nitrógeno y fósforo en el follaje y el crecimiento en altura del ensayo Buenavista. Además para las 12 parcelas que sobrevivieron al incendio se pudo establecer la siguiente ecuación, parecida a la de la Fig. 9, entre

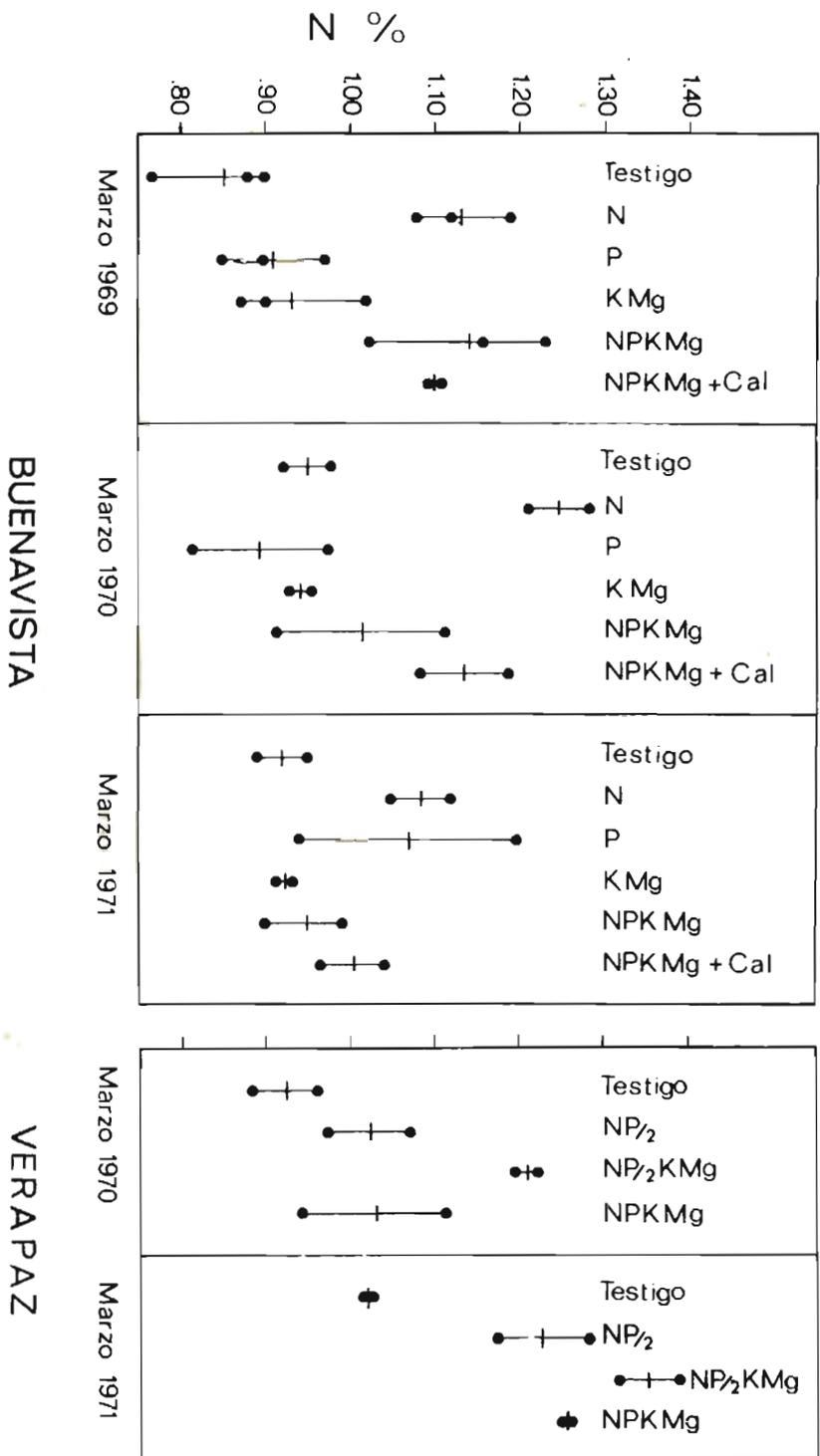


Fig. 7. Concentración de nitrógeno en el follaje de los ensayos de fertilización. Cada punto representa una parcela.

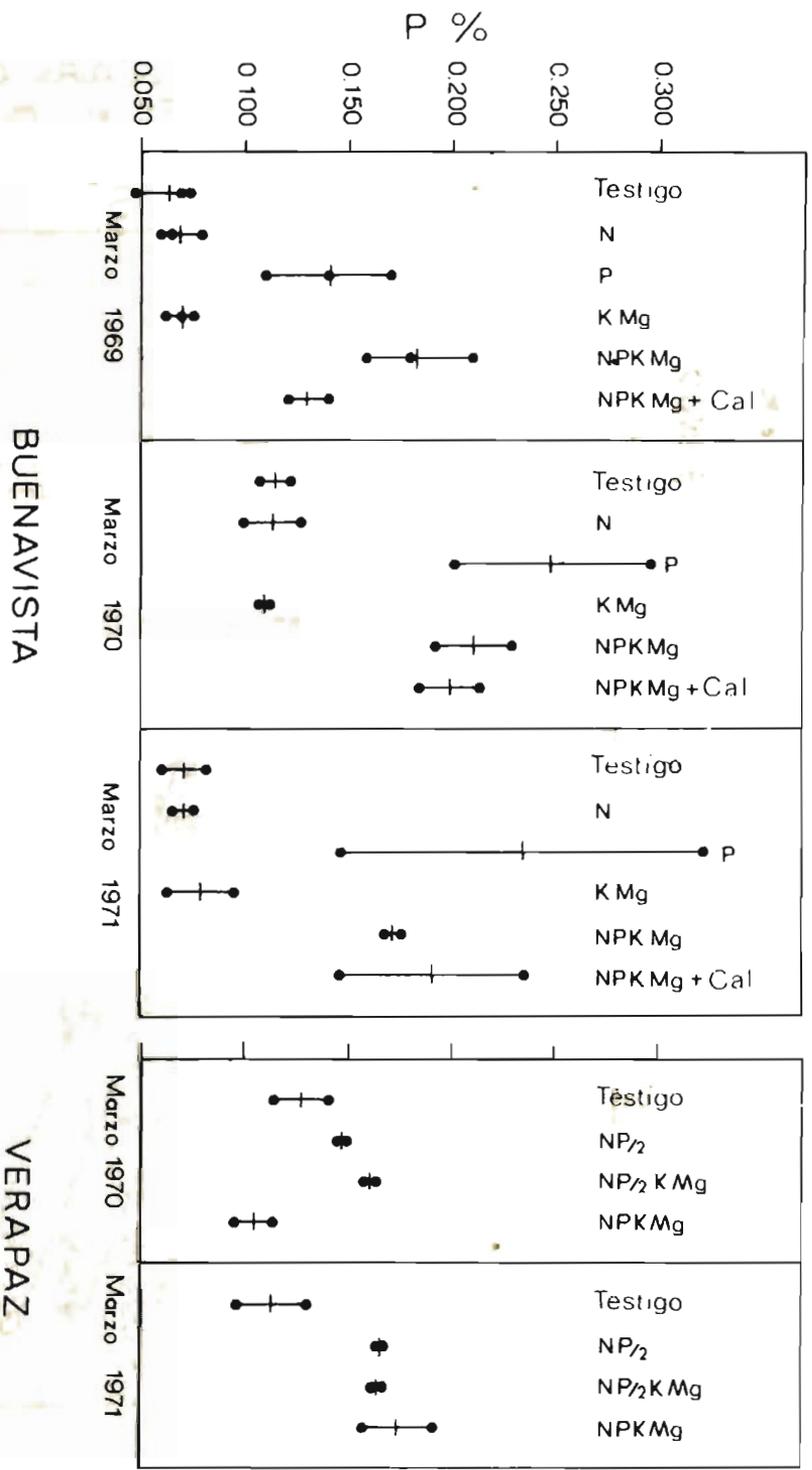


Fig. 8. Concentración de fósforo en el follaje de los ensayos de fertilización. Cada punto representa una parcela.

CRECIMIENTO ANUAL EN ALTURA DE
LOS ARBOLES DOMINANTES en m.

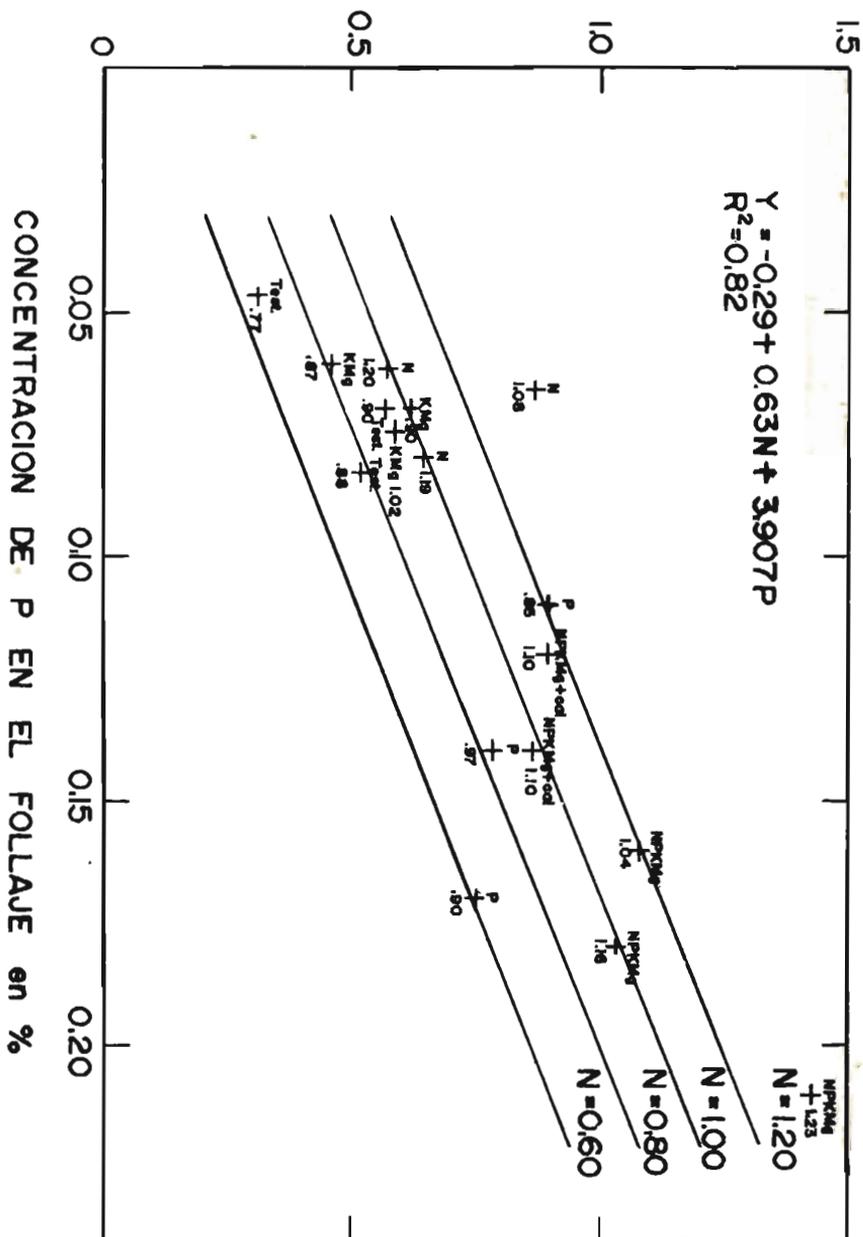


Fig. 9. Crecimiento anual de altura en el ensayo Buenavista, para el período abril 1968 - febrero 1970 relacionado con las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el follaje en marzo 1969.

las concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) en marzo de 1969 y el crecimiento medio anual en altura durante los tres años del ensayo (H_{68-71}):

$$H_{68-71} = -0.44 + 0.88 N + 2.35 P.$$

Con $R^2 = 0.71$ y error estándar de la media = 0.11 metros. Debido en parte a la variación en las concentraciones de un año a otro, especialmente la de fósforo, estas relaciones son diferentes según el año de la recolección del follaje.

Esta buena correlación entre los resultados del análisis foliar y el crecimiento de los ensayos de fertilización sugiere la posibilidad de establecer relaciones semejantes para rodales sin fertilizar pero de crecimiento muy diferente, como se ha hecho para varias especies (p. e. Wehrmann 1959). Sin embargo, la comparación de los testigos de Buenavista, Verapaz y de las tres parcelas de la Sección 4.4.1. no muestra ninguna relación entre el índice de sitio de las parcelas y la concentración de nutrientes en marzo de 1970. Evidentemente el método del análisis foliar da resultados comparables únicamente cuando los rodales de *Cupressus* son de un desarrollo semejante, esto es, de la misma edad y altura, pero requiere más refinamiento antes de poder comparar rodales muy diferentes.

Por último debe mencionarse el dramático efecto visual que la fertilización con NPKMg tuvo en los árboles de Buenavista. A los cuatro meses después de fertilizar había desaparecido por completo la "quemazón". El follaje se volvió verde oscuro y las ramas mostraron un acelerado crecimiento terminal que se destacó morfológicamente.

5. PERIODICIDAD DEL CRECIMIENTO

La existencia de un ritmo periódico en el crecimiento de una especie tiene muchas aplicaciones prácticas. Si la periodicidad en el crecimiento del *Cupressus* tuviera alguna relación con las estaciones del año, haría sospechar que ciertos factores climáticos, especialmente, la distribución de las lluvias, fueran limitantes para el crecimiento durante alguna época. Las intervenciones silviculturales, especialmente la fertilización, deben regirse por la periodicidad del crecimiento para obtener una mayor efectividad. Para mayor precisión, las parcelas experimentales y de crecimiento deben medirse durante la estación de crecimiento lento. Finalmente, la época de recolección de las muestras de follaje para análisis químico deben fijarse según el ritmo de crecimiento. Para contestar estos interrogantes se emprendieron mediciones para determinar la periodicidad del crecimiento en diámetro y el de las ramas de *Cupressus*.

5.1. *Periodicidad del crecimiento diamétrico*

Varias investigaciones han demostrado una marcada periodicidad anual del crecimiento diamétrico, aun en un clima tropical con una estación seca poco intensa (Lojan 1967, Tschinkel 1966). Para el presente trabajo se instalaron dendrómetros de cintas de aluminio, cuya construcción fue descrita por Liming (1957) y cuyas aplicaciones fueron revisadas por Borman y Kozlowski (1962). Se escogieron tres parcelas de crecimiento y edad diferentes (Fig. 10B) y se instalaron dendrómetros a la altura del pecho en 10 árboles dominantes en cada parcela. Las lecturas se tomaron aproximadamente cada mes con una precisión de 0.2 mm. en circunferencia. Se elaboró un programa de computador para hacer todos los cálculos para cada árbol y para el promedio de la parcela. En la Fig. 10B se presentan los promedios para las tres parcelas expresadas como el crecimiento diamétrico por día, desde noviembre de 1969 hasta mayo de 1971.

Es difícil reconocer algún ritmo anual en el crecimiento diamétrico. Aunque ocasionalmente ocurren meses con un crecimiento bastante por encima o por debajo del promedio para la parcela, estas aberraciones no tienden a repetirse en otro año o aún en otra parcela el mismo año. La única excepción puede ser la leve disminución del crecimiento en junio con un aumento gradual hasta noviembre, pero habrá que esperar los registros del resto de 1971 para confirmar si esto es un patrón que se repite. Evidentemente la amplitud de las variaciones es más grande en la parcela de mejor crecimiento (Lote 6) que en las otras. Aunque registros más largos y un análisis más detallado puedan hacer resaltar una periodicidad en el crecimiento diamétrico, la simple observación de la Fig. 10B permite concluir que el crecimiento diamétrico del *Cupressus* en la región de estudio no muestra una periodicidad anual, o ésta es de una amplitud tan pequeña que tendrá pocas aplicaciones prácticas.

5.2. *Periodicidad del crecimiento de las ramas*

Para muchas especies el ritmo de crecimiento de las ramas tanto laterales como terminales no lleva una relación fija con el crecimiento en diámetro. Es especialmente importante saber la periodicidad del crecimiento de las ramas para la recolección de muestras de follaje para análisis químico. Para esto se seleccionaron tres árboles de buen crecimiento y tres de crecimiento malo, todos entre 3 y 4 metros de altura. En cada árbol se señalaron puntos de referencia con colillas de aluminio y cada dos meses (de octubre de 1969 hasta octubre de 1970) se midió el largo del brote terminal desde este punto. Para medir el crecimiento de las ramas secundarias (aquellas que salen directamente del fuste) se seleccionó la rama secundaria más alta existente en octubre de 1969 y cada tercera hacia abajo, hasta completar 6 a 10 ramas para medir en cada árbol. Se calcularon los promedios para los tres árboles de buen crecimiento y de mal crecimiento.

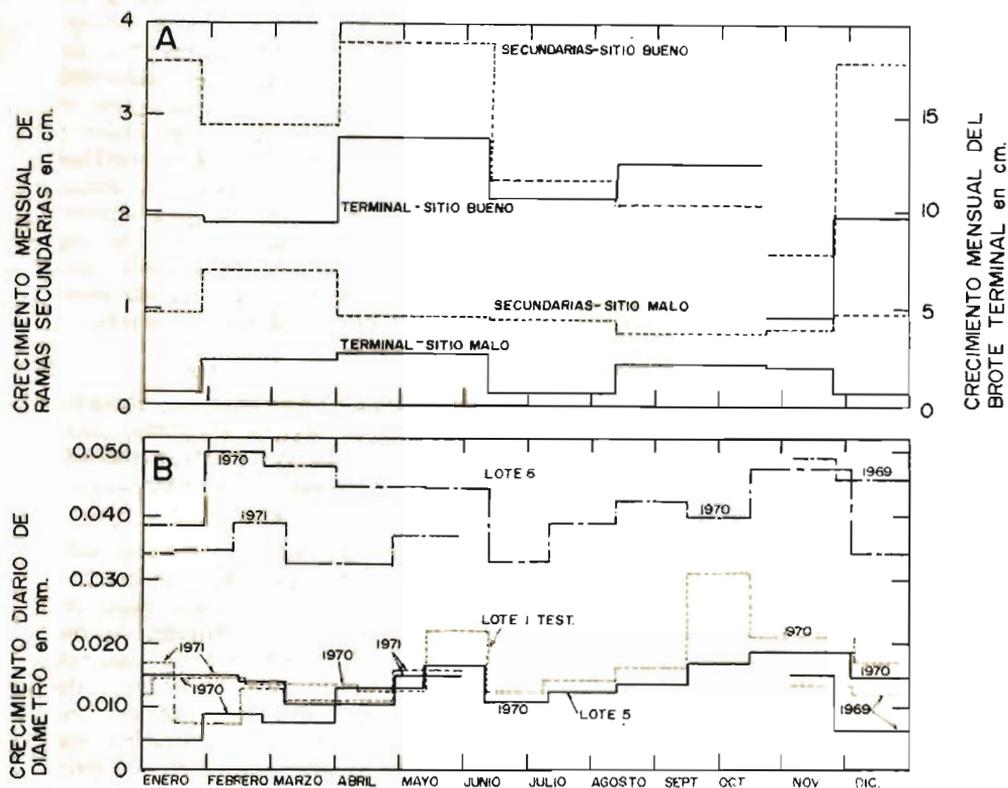


Fig. 10. A. Crecimiento mensual de los brotes terminales y las ramas secundarias de *Cupressus lusitanica* que crecen sobre dos calidades de sitio. Cada línea representa el promedio de tres árboles.

B. Crecimiento diario diamétrico de noviembre 1969 hasta junio 1971 para tres lotes con 10 árboles por lote.

LOTE 5: Índice de sitio = 8 m.; alt. dom. = 9 m.; d.a.p. prom. = 10.6 cm.; (Ver cuadro 4).

LOTE 6: Índice de sitio = 16 m.; alt. dom. = 12 m.; d.a.p. prom. = 13.2 cm.; (Ver cuadro 4).

LOTE II TEST: Índice de sitio = 11 m.; alt. dom. = 12 m.; d.a.p. prom. = 11.3 cm.; (corresponde a la parcela II-Testigo del ensayo Verapaz).

Los resultados se presentan en términos de crecimiento por mes en la Fig. 10A. No se nota ningún período inactivo en el crecimiento de los brotes terminales o de las ramas secundarias. Aunque existen marcadas fluctuaciones entre un período y otro, no es posible percibir un ritmo que se refleje tanto en los árboles de mal como de buen crecimiento. Otra vez la posible excepción es la disminución del crecimiento durante junio-julio de 1970, que corresponde a un crecimiento reducido en diámetro (Fig. 10B), y al máximo de la concentración de nitrógeno y fósforo en el follaje de los árboles jóvenes de buen crecimiento (Fig. 4, Lote 6). Aunque es interesante especular sobre posibles conexiones causales entre estas fluctuaciones, los datos son demasiado limitados para no descartar la posibilidad de una coincidencia. En general, para la periodicidad de crecimiento de las ramas terminales y secundarias, vale la misma conclusión que para el crecimiento diamétrico, es decir, que no se nota un marcado ritmo anual o que éste es de una magnitud muy reducida.

6. CONCLUSIONES

Los experimentos descritos han acumulado indicaciones complementarias para contestar, con bastante certeza, la pregunta: cuáles son los factores que limitan el crecimiento de plantaciones de *Cupressus* en la región? Estas indicaciones deben considerarse en conjunto.

Primero, las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la región de estudio se destacan por su alta fijación del fósforo y por lo tanto hacen sospechar que el suministro de este elemento puede ser insuficiente para el crecimiento de las plantaciones en algunos sitios. Aunque el contenido de materia orgánica y nitrógeno es extraordinariamente alto, los ensayos de incubación confirmaron su muy baja tasa de mineralización, indicando así que el suministro de nitrógeno puede también ser deficiente. Los siete perfiles que se analizaron, aunque muy pocos para generalizar, confirman la limitación que el fósforo y el nitrógeno representan para el crecimiento en este tipo de suelo. Esta confirmación se basa en la relación directa que se encontró entre el crecimiento, que a su vez está ligado a la fisiografía, y las reservas de nitrógeno y fósforo total que se encontraron en la capa de suelo derivado de cenizas volcánicas en los distintos perfiles.

Las excelentes propiedades físicas de los suelos, al igual que las bajas tensiones que la humedad del suelo alcanza aun durante la estación seca, permiten descartar la escasez del agua como un factor limitante. La falta de una marcada periodicidad en el crecimiento y en la concentración de los nutrientes en el follaje indican que la variación de las lluvias durante el año y probablemente otros factores climáticos de variación periódica anual no limitan el crecimiento, ya sea directamente, o indirectamente por medio de su influencia sobre la disponibilidad de ciertos nutrientes del suelo durante cualquier estación del año.

Los síntomas visuales de deficiencia creados artificialmente hicieron pensar que la "quemazón" comunmente vista en el cam-

po se debía a la deficiencia de fósforo. Los ensayos de fertilización en el invernadero indicaron que la aplicación de ambos elementos, tanto el nitrógeno como el fósforo, son necesarios para aumentar el crecimiento de plántulas de *Cupressus* al máximo.

La limitación que representa para el crecimiento, el bajo suministro de nitrógeno y fósforo en algunos sitios, fue claramente confirmado por los dos ensayos de fertilización en el campo. La respuesta a la combinación de úrea y superfosfato triple fue extraordinariamente alta. Pudo descartarse la necesidad de fertilizar con K, Mg, o cal con base en la falta de una respuesta significativa a la aplicación de estos elementos y en la adecuada concentración de ellos en el follaje. Los análisis foliares sirvieron para controlar los ensayos de fertilización y para dar una base más firme a su interpretación.

En resumen, se puede concluir que las plantaciones de *Cupressus lusitanica* en el Oriente Antioqueño tienen un crecimiento pobre en algunos sitios debido a una deficiente disponibilidad del fósforo y del nitrógeno. La fertilización con estos dos elementos causó una gran mejora en el crecimiento.

Un resultado importante de este trabajo fue el de confirmar la utilidad de varios métodos de investigación para las condiciones locales. Específicamente la medición de la tensión de la humedad en el campo por medio del método de papel de filtro podría fácilmente aplicarse para una variedad de investigaciones ecológicas, agrícolas e hidrológicas en las cuales la escasez de agua en el suelo juega un papel importante. La aplicación por primera vez de análisis foliar a *Cupressus lusitanica* dio algunas guías para las concentraciones limitantes de los principales elementos y sentó las bases para diagnosticar deficiencias nutritivas con mayor facilidad para el futuro. Para aplicaciones amplias es indispensable, sin embargo, perfeccionar el método. La aparente falta de periodicidad en el crecimiento y en las concentraciones durante el año, simplificarán la metodología.

Sobre todo se comprobó que el método integral para identificar los factores limitantes, en el cual cada experimento aporta indicios desde otro punto de vista, da resultados rápidos y muy seguros cuando las diferentes líneas de indicaciones se complementan y se interpretan en conjunto.

Una de las implicaciones prácticas del presente trabajo fue la de demostrar el potencial de la fertilización de las plantaciones en sitios de calidad mala e intermedia. Una respuesta tan alta a la fertilización se encuentra muy raras veces en la literatura. Aunque no deben hacerse recomendaciones de fertilización en escala amplia hasta que se haya comprobado su rendimiento económico, este campo sí merece más estudio. Específicamente las investigaciones futuras deben procurar rebajar los costos de la fertilización con nitrógeno y fósforo, ensayando otras fuentes de fósforo como roca fosfática y escorias. Se debe hacer énfasis en las plantaciones mayores de 10 años de edad que crecen en sitios de calidad intermedia porque en ellas la madera adicional se acumula sobre fustes de mayores dimensiones.

BIBLIOGRAFIA

- Aristizábal V., A. Fertilización del ciprés (*Cupressus lusitanica*) (Mill) en macetas con suelos volcánicos del Oriente Antioqueño. Tesis. Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas. 36 pp. 1970.
- Barrera M., C. Tablas volumétricas del *Cupressus lusitanica* (Mill). Para la región de Piedras Blancas. Tesis. Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. 248 pp. 1964.
- Botero A., G. Contribución al conocimiento de la geología en la zona central de Antioquia. Medellín, Anales de la Facultad de Minas, Universidad Nacional. 101 pp. 1963.
- Borman, F. H. y T. T. Zozlowski. Measurements of tree ring growth with dial gage dendrometers and vernier tree ring bands. Ecology 43 (2): 289-294. 1962.
- Broadfoot, W. M. y H. D. Burke. Soil - moisture constants and their variation. U.S. Forest Service, S. E. Expt. Sta. Occ. Paper 166. 27 pp. 1958.
- Del Valle, J. I. y H. Cadavid. Retención de humedad en andosoles de Antioquia determinada por el método del papel de filtro. Tesis Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas. 119 pp. 1970.
- F. A. O. World Soil Resources Report 14. Roma, FAO, 169 pp. 1964.
- Fassbender, H. W. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central, Panel Sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, IICA, Turrialba, Costa Rica. 1969.
- Fawcett, R. G. and N. Collis-George. A filter paper method for determining the moisture characteristics of soil. Australian. J. Expt. Agric. Animal Husbandry 7:162-167. 1967.
- Fernández, F. y N. Santa. Estudio general de suelos del Oriente Antioqueño. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 93 pp. 1964.
- Finck, A. Bedeutung und Anwendung der Blattanalyse in den Tropen. Landwirtschaftliche Forsch. 16 (2): 145-152. 1963.
- Gardner, Robert. A method of measuring the capillary tension of soil moisture over a wide moisture range. Soil Sci. 43:277-283. 1937.
- Gómez, Félix y Darío Castrillón. Reconocimiento detallado de los suelos del valle del Río Negro (Antioquia). Tesis. Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. 90 pp. 1964.
- HacsKaylo, J., R. F. Finn y J. P. Vimmerstedt. Deficiency symptoms of some forest trees. Ohio Agric. Res. and Development Center. Research Bull. 1015. 68 pp. 1968.
- IICA (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas) Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. IICA, Turrialba, Costa Rica. 1969.

- Jaramillo, J. y G. Montoya S. Síntomas de deficiencias y efectos tóxicos del aluminio en ciprés (*Cupressus* sp.) Tesis. Medellín. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas. 57 pp. 1968.
- Jackson, M. L. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 380 pp. 1958.
- John, H. y H. Tschinkel. Parcelas forestales permanentes: su establecimiento, medición y análisis. Medellín, Centro de Publicaciones. Universidad Nacional de Colombia. 190 pp. 1971.
- Laatsch, W. Beziehungen zwischen Standortsfaktoren, Ernährungszunstand und der Wuchsleistung von Waldbeständen. XIV IUFRO Congress. Sect. 21, München, pp. 22-34. 1967.
- Leaf, A. L. K. Mg, and S deficiencias in forest trees. Tennessee Valley Authority. Forest fertilization: theory and practice. Muscle Shoals, Alabama, TVA. pp 88-122. 1968.
- Lemos, Hernando, Capacidad de retención de fósforo y mecanismos de un suelo derivado de cenizas volcánicas. Manuscrito sin publicar, Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas. 42 pp. 1968.
- León, Luis Alfredo. Chemistry of some tropical acid soils of Colombia, S. A. Ph. D. Dissert., Univ. of California, Riverside. 191 pp. 1967.
- Liming, F. G. Homemade dendrometers. J. For. 55:575-577. 1957.
- Lojan, Leoncio. Periodicidad del clima y del crecimiento de especies forestales en Turrialba, Costa Rica. Turrialba 17 (1): 71-83. 1967.
- Luna Z., Carlos. Anotaciones pedológicas sobre algunos andosoles de Antioquia. Inst. Geográfico "Agustín Codazzi" Depto. Agral. Vol. IV N° 153 pp. 1968.
- McQueen, I. S. and R. F. Miller. Calibration and evaluation of a wide range method for measuring moisture stress in field soil samples. Soil Sci. 106: 225-231. 1968.
- Müller, L. E. Manual de laboratorio de fisiología vegetal. IICA, Turrialba, Costa Rica. 165 pp. 1964.
- Oppenheim, V. Glaciaciones cuaternarias en la Cordillera Oriental de la República de Colombia. Rev. de la Acad. Colombiana de Ciencias. 4 (13): 70-82. 1940.
- Ospina Londoño, Oscar. Aluminum - organic matter complexes of the horizons of some acid soils. Ph. Dissertation, U. of Cal., Riverside, 140 pp. 1967.
- Pérez, C. y J. Ramírez. Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas. (Informe mimeografiado) Medellín, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional. 13 pp. 1969.
- Rodríguez, Pablo. Identificación de la fracción mineral de suelos derivados de cenizas volcánicas. Manuscrito, Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía. 50 pp. 1969.

- Schalscha, E. B. *et al.* Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29:481-482. 1965.
- Tamm, C.O. Determination of nutrient requirements of forest stands, *en* Romberger, J. A. y P. Mikola (ed.) *International Review of Forest Research* Vol. 1, New York, Academic Press. 115 pp. 1964.
- Tschinkel, H. Annual growth rings in *Cordia alliodora*. *Turrialba* 16 (1): 73-80. 1966.
- Tschinkel, H. Growth, site factors and nutritional status of *Cupressus lusitanica* plantations in the highlands of Colombia. *Dissertación, Universität Hamburg, Hamburg*, 164 pp. 1972 a.
- Tschinkel, H. La clasificación de sitios y el crecimiento del *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. *Medellín, Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 27 (1): 3-30. 1972 b.
- Tschinkel, H. y H. W. Zöttl. Ernährungszustand un Düngung von *Cupressus lusitanica*-Aufforstungen im Hochland von Kolumbien. *Essen, Die Phosphorsäure*. 1972c (en preparación).
- Van Goor, C. P. Reflorestamento com coníferas no Brasil. *Río de Janeiro, Depto. Rec. Naturais Renov., Seccao de Pequisas Florestais, Bol.* 9, 58 pp. 1965.
- Wehrmann, J. Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. *Forstwiss. Cbl.* 78: 129-149. 1959.
- Wehrmann, J. Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. *Landwirtschaftliche Forsch.* 16(2):130-145. 1963.
- Wilhelmy, H. Eiszeit und Eiszeitklima in den feuchttropischen Anden. *Geomorphologische Studien, Machtscheck Festschrift.* pp. 281-310. 1957.
- Wright, A.C.S. Some soils derived from volcanic ash in Colombia, South America (manuscrito sin publicar) *FAO, Roma*, 11 pp. 1963.
- Wright, Charles A. Report to the government of Chile on the volcanic ash soils of Chile. *Report N° 2017, FAO, Roma*, 200 pp. 1965.
- Yuan, T. L. Determination of exchangeable hydrogen in soil by a titration method. *Soil. Sci.* 88: 164-167. 1959.
- Zöttl, H. W. Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoffnachlieferung des Waldbodens. *Forstwiss. Centralblatt* 79: 72-90. 1960 a.
- Zöttl, H. W. Die Mineralstickstoffanlieferung in Fichtenöund Kiefernbeständen Bayerns. *Forstwiss. Centralblatt* 79: 221-236. 1960 b.
- Zöttl, H. W. y H. Tschinkel. *Nutrición y fertilización forestal: Una guía práctica.* Medellín. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. 116 pp. 1971.

A N E X O

DESCRIPCION DEL PERFIL 55

- I. Información acerca del sitio de la muestra.
- a) Número del perfil: 55
 - b) Fecha de observación: Noviembre 1969.
 - c) Autor: H. Tschinkel.
 - d) Ubicación: A mano derecha de la carretera que va de la entrada de la Estación Experimental de Piedras Blancas hacia Mazo. Aproximadamente 280 m. después del primer puente de concreto sobre la Quebrada Piedras Blancas (Sitio de la Estación de Aforos). Se aprovechó del corte de la carretera, el cual se abrió más para exponer suelo fresco. La Estación y Represa de Piedras Blancas están aproximadamente a 20 km. por carretera al este de Medellín, Colombia. Lat 6°17'N.; Long. 73°32'W.
 - e) Altitud: 2360 m.
 - f) Forma del terreno:
 - 1. Posición fisiográfica: Pendiente recta.
 - 2. Forma del terreno circundante: Colinado.
 - 3. Microtopografía: Ninguna.
 - g) Pendiente donde el perfil está situado: 20°.
 - h) Uso de la tierra: Plantación de *Cupressus lusitanica* de aproximadamente 8 años.
 - i) Clima: Temperatura promedio anual 150°C. Precipitación anual 1586 mm.
El mes más seco es enero con un promedio de 41 mm. El mes más seco que se haya registrado tuvo 6.0 mm.
- II. Información general acerca del suelo.
- a) Material de partida: Ceniza volcánica depositada sobre rocas metamórficas (anfíbolitas).
 - b) Drenaje: Moderadamente bien drenado.
 - c) Condiciones de humedad del suelo: Húmedo en su totalidad.
 - d) Presencia de piedras en la superficie y afloramientos rocosos: Ninguna.
 - e) Evidencia de erosión: Ninguna visible.
- III. Breve descripción del perfil.

Horizontes superficiales **negros**, con abundantes raíces. Los horizontes B son de color oliva, divididos por una capa ferrugi-

nosa continua. Son dominados por manchas de varios colores que también tienen una estructura diferente de la de la matriz. La textura es uniforme (franco limoso) hasta la discontinuidad litológica a los 140 cm. donde se vuelve más arcilloso (franco arcilloso) y donde aparecen gravas angulares de cuarzo.

IV. Descripción del perfil.

- A₁₁ 0 — 10 cm. Negro (7.5 YR 2/0), franco limoso; estructura en migajón, fina, moderada; raíces abundantes; límite neto, plano (muestra N° 55 - 1).
- A₁₂ 10 — 30 cm. Negro (7.5 YR 2/0), franco limoso; estructura en migajón, fina, moderada y en bloques subangulares, fina, moderada; raíces abundantes; límite gradual, ondulado (muestra N° 55-2, incluido para secciones delgadas).
- AB 30 — 40 cm. Negro (10 YR 2/1) hasta pardo oliva (2.5 Y 3/2), franco limoso; estructura en bloques subangulares, mediana, moderada; raíces abundantes, límite gradual, ondulado (muestra N° 55 - 3).
- B₂₁ 40 — 60 cm. Pardo oliva (2.5 Y 4/4) muchas manchas de color, grandes, definidas, (5 GY 5/1) y frecuentes manchas de color medianas, definidas rojo oscuro (10 R 3/6), franco limoso; estructura en bloques angulares, mediana, fuerte; raíces regulares; límite brusco, ondulado (muestra N° 55 - 4, incluido para secciones delgadas).
- B_{22cn} 60 — 70 cm. Rojo oscuro (10 R 3/3), franco limoso, estructura en bloques subangulares, fina, moderada; muy firme en húmedo; capa ferruginosa continua con inclusiones del horizonte superior en sus ondulaciones; raíces escasas; límite neto, ondulado (muestra N° 55 - 5, incluido para secciones delgadas).
- B₂₃ 70 — 114 cm. Similar al horizonte B₂₁ pero consistiendo de dos partidas de color y estructura diferente; gris oliva (5 Y 4/2), franco limoso; estructura en bloques angulares, fina, moderada y pocas manchas de amarillo parduzco (10 YR 6/6), franco li-

moso, estructura en bloques subangulares, fina, débil ;no se observan raíces; límite gradual, plano (muestra N° 55-6, incluido para secciones delgadas).

B₃ 114 — 143 cm. Pardo oliva claro (2.5 YR 5/4) con transición a pardo fuerte (7.5 YR 5/8), franco limoso en la parte superior del horizonte, jabonoso al tacto con transición a franco arcilloso no jabonoso al tacto en la parte inferior; estructura en bloques subangulares, fina, moderada; no se observan raíces; límite difuso, plano (muestra N° 55 - 7).

IIC 143 — 180 cm.+ Pardo fuerte (7.5 YR 5/8) en la parte superior del horizonte con transición a rojo amarillento (5 YR 5/8) en la parte inferior, franco arcilloso; estructura en bloques angulares, mediana, fuerte; grava angular de cuarzo cerca al límite superior del horizonte; no se observan raíces (muestra N° 55 - 8).