

La mineralización del nitrógeno en suelos de cenizas volcánicas de Colombia y su relación con el crecimiento de *Cupressus lusitanica** ————— JORGE I. DEL VALLE**

ABSTRACT

This research had two objectives: 1) to ascertain if there was any relation between N-mineralized and the site index of Cupressus lusitanica in plantations on volcanic ash soils near Medellin, Colombia, and 2) to study the effect on mineralization of nitrogen of the conventional method of open drying and then wetting again the soil samples

Highly significant correlations were found between the site index and the N-mineralized in fresh soil, that were able to explain 58 per cent of the variation in cypress growth when N was presented in kg/ha, and 48 per cent, when presented in ppm. Correlations with dried-wet soil were accordingly lower without signification when N was expressed in ppm. No significant correlations were found between soil site and the variables total-N per cent, organic mater per cent and C/N relation. Drying and wetting the soil increased N mineralization, reaching an average of five times that of soil kept fresh. — The author

Introducción

EL ciprés, *Cupressus lusitanica* Mill en zonas montañosas cercanas a Medellín, Colombia, se ha plantado en suelos de cenizas volcánicas con contenidos de materia orgánica y de nitrógeno total bastante altos. A pesar de esto, se han podido comprobar deficiencias de nitrógeno (19, 21, 22) y un crecimiento bastante irregular. Resulta lógico suponer que la mineralización de este elemento no es adecuada, por lo que quizá exista alguna relación entre el crecimiento de ciprés y el N-mineralizado como índice de disponibilidad del nitrógeno para esta especie.

Tal suposición la refuerzan los resultados de una investigación previa en que utilizando tres parcelas se encontró mayor mineralización del nitrógeno a medida que el crecimiento del ciprés mejoraba (21). Uno de

los objetivos fundamentales de esta investigación fue averiguar si se mantiene dicha tendencia, utilizando un mayor número de parcelas y diferentes localidades que cubran un ámbito amplio de crecimiento de *C. lusitanica*. También se estudió el efecto que tiene el secado y posterior rehumedecimiento del suelo en la mineralización del nitrógeno

Revisión de literatura

Existen muy pocas investigaciones sobre el efecto de la mineralización del nitrógeno en el crecimiento de los bosques. Sólo se hallaron tres investigaciones sobre tal aspecto en la literatura consultada: Tam (17) en Suecia encontró que en tres localidades aumentaba el crecimiento de los bosques a medida que la mineralización del nitrógeno era más activa. Tschinkel registró un caso similar en Colombia (21). Tam (18) y Zöttl y Tschinkel (26) citan investigaciones de Zöttl en las cuales comprobó un aumento en el incremento medio anual de plantaciones de pinos y abetos de Alemania a medida que la mineralización del nitrógeno se incrementaba.

* Recibido para la publicación el 11 de agosto de 1975

** Universidad Nacional, de Colombia Medellín; Departamento de Recursos Forestales. Apartado aéreo 368, Medellín, Colombia

Con respecto al efecto que tiene el secado y posterior rehumedecimiento del suelo en la mineralización del nitrógeno, se puede afirmar que es conocido, por lo menos, desde los años 20 cuando Gustafson (11) y Lebdjantzev (13) lo investigaron. Puede resumirse indicando que el secado y posterior rehumedecimiento del suelo producen un incremento en la mineralización del nitrógeno con respecto a los suelos que se han conservado frescos. Posteriormente Birch redescubrió el fenómeno (1, 2, 3, 4, 5) y de allí que últimamente se le ha llamado "efecto de Birch". En suelos de cenizas volcánicas se ha estudiado muy poco a pesar de la importancia práctica que en ellos llega a tener. Se pueden citar las investigaciones de Hayashi y Harada (12) en el Japón, de Broadbent y Jackman (8) en Nueva Zelanda y de Bornemisza y Pineda (6) en Costa Rica. Del Valle (23) realizó investigaciones sobre este efecto simultáneamente con la aquí reportada en suelos volcánicos de Colombia: con muestras de suelo de seis localidades seleccionadas se hicieron incubaciones con suelo seco al aire y rehumedecido, y con suelo fresco durante 2, 4, 6, y 8 semanas, determinando el nitrógeno mineralizado en ambos tratamientos. Para todos los períodos de incubación se mineralizó considerablemente más nitrógeno en el suelo secado que en el que se conservó fresco; a las 2 semanas llegó a ser 15 veces mayor y a las 8 semanas 6 veces mayor. También se cultivaron rábanos en suelo secado al aire durante dos semanas y en suelo fresco de tres localidades. Se comprobó que tanto el peso seco total como el de la parte aérea y de la raíz, fueron significativamente mayores al nivel del 1 por ciento en aquellas plantas cultivadas en el suelo secado al aire (23). Una revisión más detallada de este efecto puede consultarse en la investigación mencionada.

Material y métodos

Suelos y área de estudio

Se utilizó el horizonte A de suelos derivados de cenizas volcánicas clasificados como Distrandept típicos en su mayoría (10) y cultivados con *C. lusitanica*. En el Cuadro 1 se presentan algunas de las características más importantes de estos suelos. El horizonte A tiene valores promedios de profundidad de 23 cm, densidad aparente 0,39 g/cm³, N total 0,91 por ciento, M.O. 23,3 por ciento, relación C/N 16 y pH en agua, 5,2. El área de estudio comprende 2 municipios y una Estación Forestal Experimental cercanos a Medellín, cuyos nombres y datos climáticos básicos se dan a continuación:

Municipio o localidad	Precipitación mm	Temperatura °C
1 Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas	1600	15
2 El Retiro	2000	16
3 Caldas	2200	18-19

Toma de muestras y métodos analíticos

El muestreo se realizó en 22 parcelas permanentes de crecimiento de *C. lusitanica* con un área de 600-800 m². En cada parcela se tomaron los siguientes datos en el suelo:

- 1 Profundidad promedio del horizonte A con base en 50 perforaciones utilizando un barrenos volumétrico.
- 2 Densidad aparente utilizando las 50 muestras del suelo extraídas con el barrenos.
- 3 Aproximadamente 1 a 2 kilos de suelo del horizonte A obtenido de los pasos anteriores.

Como para la mayoría de las parcelas existían datos de otro estudio sobre profundidad del horizonte A y de densidad aparente (19, 21), se utilizaron en este estudio. Sin embargo, para aquellas parcelas en que los valores de densidad aparente aparecían muy bajos, se determinó de nuevo y se halló un promedio con los datos de que se disponía.

El N total se determinó por Kjeldahl; el N inorgánico (NH₄ + NO₃ + NO₂) según Bremner (7); el pH en agua con relación 1/1; el carbono orgánico total por el método de Walkley y Black (25).

El suelo se incubó a 30°C según el método de Keeney y Bremner (7) con las siguientes modificaciones: 1) El período de incubación de 6 semanas. 2) Se usaron muestras de suelo tanto previamente secadas al aire como frescas. 3) La humedad del suelo incubado a una succión de 1/3 bar. 4) Se controló la humedad pesando diariamente los frascos de incubación y agregando el agua faltante.

Crecimiento de *C. lusitanica*.

Como las plantaciones tenían diferente edad (8-20 años), se llevaron todas a la altura que tendrían los árboles dominantes a los 15 años de edad. Con tal fin se utilizó la ecuación de índices de sitio para esta especie y zona desarrollada por Tschinkel (20):

$$\log IS = \log H - 1,80136(1/15 - 1/E)$$

En esta ecuación IS es el índice de sitio, o sea, la altura en metros de los árboles dominantes a los 15 años; H es la altura en metros de los árboles dominantes en cada parcela; E es la edad en años. También este dato se encontraba disponible para la mayoría de las parcelas de otras investigaciones (19).

Resultados y discusión

Relación entre el índice de sitio y la mineralización del N

En el Cuadro 1 se resume la información obtenida en la presente investigación. Al calcular regresiones utilizando diferentes modelos entre el crecimiento de *C. lusitanica* expresado como su índice de sitio, y las siguientes características del suelo: por ciento N total

Cuadro 1—N-mineralizado durante 6 semanas de incubación en suelos de cenizas volcánicas frescos y tratados por secado-rehumedecimiento bajo plantaciones de *C. Insitánica*, y otras características importantes de los suelos

Municipio o localidad	Finca	Parcela No	Índice de sitio (m/15 años)	Profundidad horizonte A cm	Densidad aparente g/cm ³	N-total %	M.O %	C/N	pH en agua 1:1	N-mineralizado en 6 semanas			
										ppm		kg/ha	
										Suelo fresco	Suelo seco	Suelo fresco	Suelo seco
Piedras Blancas	Lajas	6	6,5	14,4	0,37	0,77	21,9	16,5	5,3	10	121	5,3	64,7
Piedras Blancas	Vellavista	11	8,2	15,2	0,15	0,87	24,9	16,9	5,1	10	169	6,8	115,6
Piedras Blancas	Verapaz	31	8,3	17,5	0,35	0,92	23,4	14,8	5,0	15	210	9,2	128,6
El Retiro	La Guija	8	8,1	14,8	0,34	0,94	26,1	16,1	5,0	35	191	17,6	96,1
Piedras Blancas	Lajas	4	11,8	25,1	0,34	0,77	26,7	20,2	4,9	53	206	45,2	175,8
Caldas	La Sultana	153	12,0	30,5	0,41	0,92	23,3	14,7	5,0	54	184	67,5	230,0
Piedras Blancas	Lajas	5	12,3	24,7	0,30	0,99	28,7	16,9	5,0	56	198	41,5	146,7
El Retiro	La Guija	32	12,5	21,2	0,34	0,97	26,4	15,8	4,8	41	277	26,6	159,9
Piedras Blancas	Verapaz	15	12,8	28,6	0,37	0,77	21,0	15,9	5,0	17	209	18,0	221,0
Caldas	La Vía	13	13,4	19,1	0,30	0,73	17,6	14,0	5,1	51	218	29,2	124,9
Caldas	La Sultana	PT	13,5	17,7	0,44	0,78	17,9	13,3	5,3	52	178	40,5	138,6
Caldas	Esperanza	49	13,7	31,0	0,30	0,78	18,4	13,7	4,9	26	189	24,2	175,8
Caldas	La Vía	154	14,4	24,4	0,41	0,99	24,6	14,4	5,0	42	174	42,0	171,1
Caldas	La Vía	152	14,5	13,7	0,44	0,67	12,7	11,1	5,1	52	234	31,3	141,0
El Retiro	La Guija	28	14,7	24,2	0,40	1,05	22,8	12,6	5,0	46	100	44,5	96,7
Caldas	La Vía	46	14,9	22,9	0,30	0,94	21,8	13,5	5,1	31	290	21,1	197,5
Piedras Blancas	Lajas	17	15,2	21,6	0,33	0,96	28,0	16,1	4,8	28	178	20,0	127,0
Caldas	La Vía	44	16,3	23,6	0,30	0,95	19,8	12,1	5,0	60	250	42,5	177,0
Piedras Blancas	Verapaz	16	16,9	22,0	0,14	0,84	22,6	15,6	5,1	39	176	40,0	170,4
Piedras Blancas	Lajas	7	17,7	21,2	0,41	0,85	25,0	17,1	5,0	36	185	31,3	161,0
Caldas	Córsica	PT	19,0	22,0	0,43	0,62	12,4	11,6	4,8	49	234	46,3	221,4
Caldas	Córsica	55	20,6	22,1	0,37	0,97	32,1	19,3	5,0	24	188	19,6	153,7
Caldas	Rondalla	53	23,7	24,4	0,43	0,88	16,4	10,8	4,8	41	146	43,0	153,2
Promedio		—	14,6	22,8	0,39	0,91	23,3	15,6	5,2	40	205	32,0	161,4

PT Parcela temporal

por ciento M.O. y relación C/N, no se pudo evidenciar ningún grado de asociación significativa entre las dos variables.

Por el contrario, al relacionar el índice de sitio con el N-mineralizado surgieron algunas regresiones con coeficientes de correlación altamente significativos, como se puede observar en el Cuadro 2. En todos los casos la función gamma fue la mejor entre seis modelos ensayados. Se concluye de los datos mencionados y del Cuadro 2, que el N-mineralizado en el suelo correlacionó en forma altamente significativa con el índice de sitio cuando este elemento se expresó en concentraciones absolutas, pero cuando se expresó en concentraciones relativas

la correlación fue menor llegando a ser no significativa para el suelo tratado por secado y rehumedecimiento. La interpretación de este cuadro resulta muy interesante por el hecho de que los métodos convencionales de incubación para estudiar la mineralización de la materia orgánica utilizan suelo secado al aire y rehumedecido, expresando luego el elemento en ppm. Aquí se ven en forma clara dos hechos. En primer lugar la expresión del N-mineralizado en kg N/ha, en el cual se toma en cuenta la profundidad del suelo y su masa real por hectárea, es una medida mejor de la disponibilidad de este elemento que cuando se expresa en ppm. A pesar de que en el campo agrícola no son de uso común las uni-

Cuadro 2—Coeficiente de correlación entre el índice de sitio y el N-mineralizado tanto en suelo conservado fresco como secado y rehumedecido, expresado en concentraciones absolutas y relativas

Variable independiente	Coeficiente de correlación (r)	
	kg/ha	ppm
N-mineralizado en suelo conservado fresco	0,762**	0,692**
N-mineralizado en suelo seco y rehumedecido	0,699**	0,278 n.s.

** Significativo al nivel del 1 por ciento.
n.s. No significativo.

dades absolutas, en el campo forestal se han usado con más frecuencia. A este respecto Fassbender y Tschinkel (10) han comprobado recientemente en las mismas localidades en que se realizó este estudio, que las expresiones absolutas de fosfatos de Al, K y Mg cambiables correlacionaron mejor con el crecimiento de *C. lusitanica* que las relativas. El segundo hecho para destacar es el efecto desfavorable del secado-rehumedecimiento en las correlaciones. Como se verá más adelante, es bien sabido que el secado del suelo incrementa la mineralización del N; sin embargo, aún así, se pensó inicialmente que podría haber buena correlación con el crecimiento. A la luz de los resultados aquí obtenidos se puede concluir que el N-mineralizado en el suelo pretratado por secamiento, es un índice de la disponibilidad del N menos adecuado que cuando el suelo se conserva con la humedad del campo.

En la Fig. 1 se trazó la mejor regresión obtenida que alcanzó a explicar el 58,1 por ciento de la variación en el índice de sitio, lo que puede considerarse como muy satisfactorio para este tipo de estudios. Entre varios factores de crecimiento tanto físicos como químicos estudiados por Tschinkel (19, 21) y por Fassbender y Tschinkel (10) en estas plantaciones, ningún factor o conjunto de ellos alcanzó a igualar la correlación aquí obtenida, siendo la mejor, entre las registradas por estos autores, la que relacionó el índice de sitio como variable dependiente con los fosfatos de Al, el K cambiante y el Mg cambiante expresados en kg/ha como variables independientes, la cual explicó el 52,2 por ciento de la variación en el crecimiento del ciprés. Debe tenerse en cuenta que el crecimiento de una planta depende de la interrelación de múltiples factores, y que además, la determinación del índice de sitio en sí conlleva su propia fuente de error siendo como dicen otros autores "una expresión simplificada del crecimiento del rodal" (10).

Al estudiar la asociación entre el por ciento N-total con las diferentes formas de expresar en N-mineralizado no se halló ninguna correlación significativa o cercana o serlo. Este resultado junto con la no existencia de correlación entre índice de sitio y el por ciento N total,

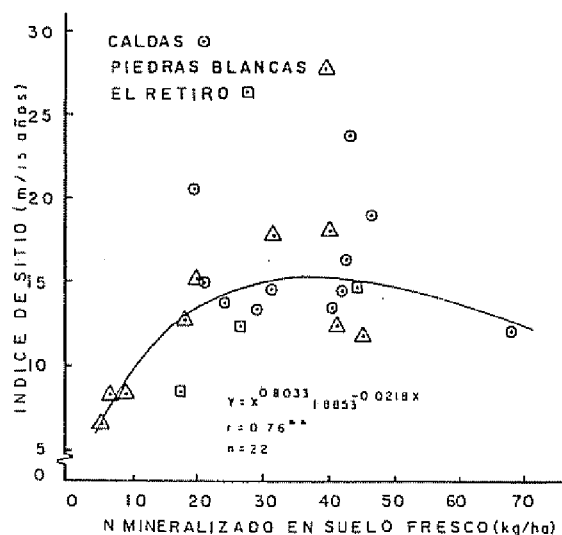


Fig. 1.—Relación entre el índice de sitio de *C. lusitanica* y el N mineralizado durante 6 semanas utilizando suelo fresco

indican que el contenido total de este elemento no sirve dentro del área estudiada como índice de disponibilidad.

Como se puede advertir en el Cuadro 1, los porcentajes de N total son sumamente altos en todas las parcelas, variando desde 0,62 hasta 1,05 por ciento, con promedios de 0,91 por ciento; los contenidos de M.O. son también muy altos alcanzando un promedio de 23,3 por ciento en una profundidad promedio del horizonte A de 23 cm. Estos datos, además de las conocidas deficiencias de N en las plantaciones de *C. lusitanica*, son síntomas de una baja descomposición y mineralización de la M.O. llegando a ser un factor limitante para el crecimiento de las plantaciones, ya que se encuentra bien establecido que el alofán forma complejos muy estables con la M.O. a través del Al, ejerciendo un efecto detrimental en la mineralización del N (6, 8, 24).

En el Cuadro 3 se ha calculado el promedio de índice de sitio y de nitrógeno mineralizado en suelo fresco para las tres localidades. Al comparar estadísticamente estos tres promedios por medio de la prueba de Duncan no se hallaron diferencias significativas entre ellos, aunque la comparación entre Piedras Blancas y Caldas fue casi significativa. La no existencia de significación a

Cuadro 3—Promedios de índice de sitio y de N-mineralizado en suelo fresco por localidades

Municipio	Índice de sitio (m/15 años)	N-mineralizado suelo fresco (kg/ha)	Número de parcelas
Piedras Blancas	12,2	24,14	9
El Retiro	11,9	29,57	3
Caldas	17,6	34,19	10

pesar de que los promedios son sustancialmente diferentes, se debe a que la variancia dentro de las localidades es muy alta. Esto es un reflejo de la selección de las parcelas puesto que se trató de que cubrieran en cada localidad un ámbito amplio de índices de sitio; si se hubieran seleccionado en cada localidad parcelas de crecimiento promedio, muy probablemente la diferencia en el N-mineralizado dentro de las localidades habría sido menor y, por lo tanto, los promedios significativos. Se nota que los promedios para Caldas son superiores a los de las otras localidades; otras experiencias han demostrado que también la concentración de N en el follaje de las plantaciones de *C. lusitana* de Caldas es superior al de las otras localidades (22), justificándose y complementándose este hecho con base en los resultados aquí alcanzados.

Quizá la razón por la cual los suelos de Caldas mineralizan más N que las otras dos localidades se debe a que está sometida a un clima más húmedo y cálido.

Efecto del secado-rehumedecimiento en la mineralización del N

El Cuadro 1 muestra que para todas las parcelas hubo un gran incremento en la mineralización del N cuando el suelo fue tratado por secado al aire para luego rehumedecerlo con el fin de hacer las incubaciones, con respecto al suelo que se conservó fresco, llegando a ser cinco veces mayor en promedio. Como los suelos en el campo nunca llegan a secarse tanto como cuando se exponen al aire en un invernadero, especialmente en zonas húmedas, se puede concluir que en la mayoría de las investigaciones sobre este aspecto en las cuales no se ha tomado en cuenta el "efecto de Birch", se está sobreestimando la mineralización del N.

Se ha visto que el mencionado efecto aumenta con el contenido de M.O. (3, 4) y con el N total (9). Por lo tanto, es de esperarse que esta sobreestimación sea mayor en los suelos tropicales y en los de cenizas volcánicas. Volviendo sobre un resultado ya discutido anteriormente de que la mineralización en el suelo fresco correlacionó mejor con el crecimiento que en el previamente secado, parece no haber justificación para utilizar suelo seco al aire, conservándose sólo la ventaja de una mayor comodidad en el trabajo en detrimento de un mayor rigor y exactitud. Cabe aquí especular que el efecto de las quemas en el incremento de las cosechas, atribuido al efecto de los nutrientes que quedan en las cenizas, puede en parte también deberse al incremento de la mineralización del N al rehumedecerse el suelo secado por el calor; esta es una hipótesis que valdría la pena investigar. Al menos a nivel de invernadero varias investigaciones han indicado que el secado y rehumedecimiento del suelo incrementan el rendimiento (1, 13, 23), constituyéndose en una fuente de error al querer aplicar estas investigaciones en el campo. También en el Africa se ha encontrado que este efecto es el responsable del aumento del rendimiento después de un período seco y al comienzo de las lluvias (1, 4, 9, 14, 16).

Aunque en la actualidad no existe una explicación contundente sobre las causas del "efecto de Birch", parece que está relacionado con una alta actividad microbiana asociada con la fase juvenil del desarrollo de la población microbiana, actividad que declina cuando la población envejece (4). Birch (2, 3, 4) también considera que al secar y calentar un suelo pueden ocurrir fragmentación o aumento de la porosidad del gel, y que al rehumedecerse el suelo parte de la materia orgánica entra en solución. En ambos casos el material queda más expuesto al ataque de los microorganismos.

Resumen

Dos fueron los objetivos fundamentales de esta investigación: 1) Averiguar si existía alguna relación entre el N-mineralizado y el índice de sitio de *Cyperus lusitana* en plantaciones sobre suelos de cenizas volcánicas cercanas a la ciudad de Medellín, Colombia. 2) Estudiar el efecto que el método convencional de secar el suelo al aire y luego rehumedecerlo tiene en la mineralización del nitrógeno en estos suelos.

Se encontraron correlaciones altamente significativas entre el índice de sitio y el N-mineralizado en suelo fresco, que alcanzaron a explicar el 58 por ciento de la variación en el crecimiento del ciprés cuando el N se expresó en kg/ha y, el 48 por ciento cuando se expresó en ppm. Las correlaciones con el suelo tratado por secado-rehumedecimiento fueron correspondientemente inferiores llegando a ser no significativas cuando se expresó el N en ppm.

No se hallaron correlaciones significativas entre el índice de sitio y las siguientes variables: por ciento N total, por ciento de M.O. y relación C/N.

El secado-rehumedecimiento del suelo aumentó la mineralización del N alcanzando a ser en promedio 5 veces mayor que en el suelo conservado fresco.

Literatura citada

- 1 BIRCH, H. F. y EMECHEBE A. M. The effect of soil drying on millet. *Plant and Soil* 21:333-335. 1965.
- 2 ————. Nitrification in soils after different periods of dryness. *Plant and Soil* 12:81-96. 1960.
- 3 ————. Soil drying and fertility. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 37:1-10. 1960.
- 4 ————. Further observations on humus decomposition and nitrification. *Plant and Soil* 11:262-286. 1959.
- 5 ————. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10:9-19. 1958.
- 6 BORNEMISZA, E. y PINEDA, R. Minerales amorfos y mineralización del nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. In IICA, Panel sobre Suelos de Cenizas Volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969, B 7, 1-7.

- 7 BREMMER, J. M. Nitrogen availability indices. In Black, C. A., ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1965. pp. 1179-1232.
- 8 BROADBENI, F. E., JACKMAN, R. M. y McNICOLL, J. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. *Soil Science* 98:118-120. 1964.
- 9 CHARLEY, J. I. The role of shrubs in nutrient cycling. In *Wildland shrubs their biology and utilization*, U.S. Department of Agriculture and Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-1, 1972, pp. 182-203.
- 10 FASSBENDER, H. W. y ISCHINKEL, H. Relación entre el crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitanica* y las propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. *Turrialba* 24:141-149. 1971.
- 11 GUSTAFSON, A. F. The effect of drying soils on the water-soluble constituents. *Soil Science* 13:173-213. 1922.
- 12 HAYASHI, R. y HARADA, T. Characterization of the organic nitrogen through the effect of drying of soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 15:226-234. 1969.
- 13 LEBEDJANIZEV, A. N. Drying of the soil as one of natural factors in maintaining soil fertility. *Soil Science* 18:119-147. 1921.
- 14 MUSA, M. M. Seasonal variation in the soil microflora and microbiological activity of the Soudan Gezira soils. *African Soils* 16:81-90. 1971.
- 15 NYE, P. H. y GREENLAND, D. J. The soils under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of Soils, Technical Communication N° 51. 1960.
- 16 SEMB, G. y ROBINSON, J. B. O. The natural nitrogen flush in different arable soils and climates in East Africa. *East African Agriculture and Forestry Journal* 3-4:350-370. 1969.
- 17 TAMM, C. O. y PETERSON, A. Studies on nitrogen mobilization in forest. *Studia Forestalia Suecica*, N° 55. pp. 39. 1959 (*Soil and Fertilizer* 33:2555. 1970).
- 18 ————. Determination of nutrient requirements of forest stands. In Romberger, J. A. y Mikola, P., ed. *International Review of Forestry Research*. Vol. 1. London, Academic, 1964. pp. 115-170.
- 19 ISCHINKEL, H. Growth site factors and nutritional status of *Cupressus lusitanica* plantations in highlands of Colombia. Dissertation. Hamburg, Universität Hamburg, 1972. 165 p.
- 20 ————. La clasificación de sitios y el crecimiento del *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía (Colombia)* 27(1):3-30. 1972.
- 21 ————. Factores limitantes de crecimiento de plantaciones de *Cupressus lusitanica*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía (Colombia)* 27(2):3-36. 1972.
- 22 VALLE, J. I. DEL. Estado nutritivo de las plantaciones de *Cupressus lusitanica* en Antioquia, Colombia. (Sin publicar).
- 23 ————. Efecto del secado de suelos de origen volcánico de Colombia en la mineralización del nitrógeno y la productividad. (Sin publicar).
- 24 WADA, K. e INQUE, T. Retention of humid substances derived from rotted clove leaves in soil containing montmorillonite and allophane. *Soil Science and Plant Nutrition* 13:10-16. 1967.
- 25 WALKLEY, A. y BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38. 1934.
- 26 ZOITL, H. y ISCHINKEL, H. Nutrición y fertilización forestal: una guía práctica. Medellín, Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1971. 114 p.