

## EFECTOS DEL SECADO DE SUELOS DE ORIGEN VOLCANICO DE ANTIOQUIA EN LA MINERALIZACION DEL N Y EN LA PRODUCTIVIDAD.

JORGE IGNACIO DEL VALLE A.\*

### INTRODUCCION.

Es práctica generalizada en los laboratorios de suelos tratar las muestras por secamiento al aire antes de trabajar con ellas ya sea para determinaciones químicas o experimentos de invernadero. Esto debido a la mayor comodidad que representa el manejo de muestras secas con respecto a las frescas, así como al hecho de que se considera que este tratamiento no afecta las propiedades del suelo. No obstante, actualmente se sabe que el secamiento del suelo afecta varias propiedades físicas del suelo e inclusive algunas químicas.

Debería evaluarse antes de hacer experimentos de incubación e invernadero, hasta que punto el secado-rehumedecimiento afecta los resultados. Esta investigación se planteó para tratar de responder a estos interrogantes en los suelos de cenizas volcánicas de las zonas montañosas de Antioquia, Colombia.

La presente investigación se llevó en forma simultánea con otra en la que se estudió la relación entre la mineralización del N y el crecimiento de Cupressus lusitanica (29).

### MATERIALES Y METODOS

#### Area de estudio y suelos.

Se utilizó el horizonte A de suelos derivados de cenizas volcánicas clasificados como

---

\* Universal Nacional, Medellín: Departamento de Recursos Forestales. Apartado Aéreo 568.

Distrandepts típicos por Tschinkel (28). En el cuadro 1 se muestran algunas de las características más importantes de estos suelos. El horizonte A superficial de color negro tiene una profundidad media de 21 cm, densidad aparente de 0.35 g/ml, N total 0.89%, M.O. 24.5%, relación C/N 16.0 y pH en agua 4.99. Las muestras fueron recogidas de plantaciones de *Cupressus lusitanica* de las fincas La Guija en el municipio de El Retiro, La Vía en el municipio de Caldas y la Estación Forestal Experimental de Piedras Blancas localidades todas cercanas a Medellín.

### Toma de muestras y métodos analíticos.

Para los diferentes aspectos del estudio se utilizaron 12 parcelas permanentes de crecimiento de ciprés utilizadas para estudiar el crecimiento de esta especie. Cada parcela tiene un área de 600-800 m<sup>2</sup> y se tomaron los siguientes datos:

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

Los datos de profundidad del horizonte A y densidad aparente estaban disponibles de otros estudios realizados por Tschinkel (28) y se aprovecharon aquí.

El N total se determinó por kjeldahl, el pH en agua con relación 1:1, el carbono orgánico total por el método de Wakeley y Black.

Las incubaciones se hicieron a 30°C de acuerdo con el método Keeney y Bremner (8) pero se le hicieron las siguientes modificaciones: 1) Los períodos de incubación fueron 2, 4, 6 y 8 semanas. 2) Se usaron muestras de suelo tanto frescas como secadas al aire y rehumedecidas. 3) La humedad del suelo incubado a una succión de 0.33 bares. 4) Se controló la humedad pesando diariamente los frascos de incubación y agregando el agua evaporada. El N inorgánico ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ ) se determinó siguiendo el método descrito por Bremner (9).

### Revisión de Literatura.

El efecto del secado y posterior rehumedecimiento del suelo en la mineralización del nitrógeno, ha sido reconocido por varios autores encontrándose un aumento en la producción de nitrógeno mineral en el suelo seco al aire con relación al fresco (1, 2, 3, 10, 11, 16, 20): últimamente este efecto ha recibido el nombre de "efecto de Birch", cuyo conocimiento no es de ninguna manera nuevo, toda vez que por los años 20 Gustafson (15) y Lebedjantzev (19) revisaron varios trabajos y trataron de darle una explicación lógica.

Birch (5) en experimentos con respirómetros encontró que cuando un suelo seco se humedece se presenta un diseño característico de descomposición en el cual un pe-

río inicial de descomposición y mineralización del nitrógeno relativamente rápido, cae durante unos pocos días, a una tasa lenta y estable. Un diseño similar de descomposición existe bajo condiciones de campo.

Cooke y Cunningam (12) obtuvieron tres veces más nitrógeno mineralizado en suelos previamente secados al aire que en los frescos. La magnitud de este efecto en la mineralización se puede evidenciar con estas cifras de Birch (3) “. . . en un suelo con 7<sup>o</sup>/o C la cantidad extra de nitrógeno mineral producido (comparado con los suelos no secos) después de 3, 6, 12 y 17 semanas de secamiento al aire equivalió a 1479, 2272, 2948 y 3149 kilogramos de sulfato de amonio por hectárea . . .”. Se ha podido comprobar que la cantidad de nitrógeno y de carbono mineralizados está en relación directa con el logaritmo del secado del suelo (2, 3, 4) y esto inclusive, aunque el suelo no pierda más humedad (2).

En Nueva Zelandia se ha encontrado el efecto del secado en suelos de pomes y de cenizas volcánicas así como en no volcánicos, sin manifestar mayor diferencia en cuanto a su respuesta al secado-rehumedecimiento para ambos tipos de suelos (10). Bormeniza y Pineda (7) estudiaron 8 suelos de Costa Rica, 4 Ando y 4 no Ando. Encontraron que el secado-rehumedecimiento incrementó la mineralización significativamente en la mayoría de los casos, especialmente en los suelos más arcillosos. Hayashi y Harada lo describieron en el Japón (17).

Varios autores están de acuerdo en que el secado en estufa es más efectivo que el secado al aire para la subsecuente mineralización del nitrógeno (4, 11, 17, 25), pero se han obtenido resultados opuestos a esto (1).

El efecto del almacenamiento del suelo en estado seco también ha recibido atención de los investigadores sin que exista un acuerdo unánime. Harptead y Bague (16) encontraron que el nitrato disminuyó durante las primeras 3 semanas de almacenamiento del suelo seco al aire, pero luego aumentó hasta un año que duró el experimento. Birch (2) obtuvo una función lineal entre el logaritmo del período de almacenamiento y la subsecuente producción por mineralización del nitrógeno y carbono. Por el contrario, Gasser (14), y posteriormente Cornfield (13) no hallaron diferencia en la mineralización por almacenamiento del suelo. Robinson (23) ideó un tratamiento que según él elimina el efecto del almacenamiento. Actualmente se cuenta con suficiente documentación como para afirmar que las variaciones estacionales de nitrato, con un máximo hacia el comienzo de la estación lluviosa, que ha llamado la atención de los investigadores en las zonas tropicales, no son más que la manifestación del “efecto de Birch” en el campo. Al respecto las investigaciones de Nye y Greenland (22), Semb y Robinson (24), Musa (21) y Charley (11) son concluyentes.

El fenómeno que se viene mencionando también tiene efecto, como es lógico, en los experimentos de invernadero, aunque la información es escasa, así Lebedjantzev (19) y posteriormente Birch y Emechebe (6) obtuvieron cosechas significativas superiores cuando cultivaron millo en suelos previamente secados al aire que en suelos frescos.

Birch (2, 3, 5) ha tratado de explicar este interesante efecto que lleva su nombre y, aunque no es definitivo arroja alguna luz. Parece ser que al humedecer un suelo seco

parte de la materia orgánica entra en solución. Póstula además que el secado produce cambios en el gel orgánico que persisten durante algún tiempo y son aumentados por el calor. Los cambios que pueden ocurrir son fragmentación o aumento en la porosidad del gel por el secado y el calentamiento, produciendo cada uno de ellos un aumento en el área superficial. En ambos casos el material orgánico queda más expuesto al ataque de los microorganismos. Estos cambios se consideran reversibles al rehumedecer el suelo. Tal comportamiento puede ser el responsable no sólo del incremento en materia orgánica que se puede extraer de un suelo rehumedecido en comparación con otro fresco, sino también del rápido decrecimiento en la tasa de nitrificación después de rehumedecer, que es consecuencia del hinchamiento y cohesión del gel con un decrecimiento correspondiente en el área superficial.

También hay evidencia (3, 26) de que al rehumedecer un suelo seco se desarrolla una alta actividad microbial asociada con la fase juvenil del desarrollo de la población, actividad que declina cuando la población envejece.

Con relación a lo anterior Stevenson (26) informa que alcanzó mayor actividad metabólica en el suelo secado al aire y rehumedecido que en el suelo fresco. Concluyó también que el grado en el cual aumentó la actividad metabólica en este tratamiento varía directamente con la concentración de amino ácidos libres y otros materiales nitrogenados liberados por el secado del suelo.

## Resultados y Discusión.

### Efecto del secado-rehumedecimiento en la mineralización del N.

Las cifras del cuadro 2 son bastante elocuentes para demostrar que el secado y posteriormente rehumedecimiento del suelo, afectan la mineralización del N, aumentándola con respecto al suelo que se ha conservado fresco. A las 2 semanas el suelo seco mineralizó entre 10 y 30 veces más N que el suelo fresco cuando se expresa en ppm. En promedio las 6 parcelas mineralizaron 15 veces más N a las 2 semanas y 6 veces más a las 8 semanas de incubación.

Las diferencias encontradas son mucho más altas que las que dan otros autores (11, 12, 20) y se debe atribuir al alto contenido en M.O. y N total que tienen estos suelos los cuales llegan respectivamente a 245<sup>o</sup>/o y 0.89<sup>o</sup>/o en promedio. Esta suposición se basa en el hecho de que el "efecto de Birch" aumenta con el contenido en M.O. (4) y con el N total (11). En la figura 1 se han representado los valores promedios de N mineralizado en ambos tratamientos evidenciándose las diferencias entre el suelo seco y fresco durante todos los períodos de incubación.

Es de destacar la mineralización tan alta durante las dos primeras semanas en el suelo seco al aire, llegando a mineralizar en este lapso de tiempo el 67<sup>o</sup>/o en promedio del total mineralizado en las 8 semanas contra solo un 27<sup>o</sup>/o en el suelo fresco. Transcurridas estas dos semanas la mineralización se estabiliza a una tasa constante como lo muestra la figura 1. La mineralización de un suelo seco y rehumedecido o ocurre pues en dos etapas: durante la primera etapa hay una activa mineralización de la M.O. que entra en solución por el proceso del secado, en la segunda etapa la mineralización se estabiliza a una tasa más lenta y estable. Estas etapas coinciden más o menos con los estados 1 y 2 descritos por Birch (5), pero aquí se observa que

aún después de las dos semanas la tasa de mineralización continúa siendo mayor en los suelos secados que en los frescos, por lo menos durante las 8 semanas de este estudio. Dos razones no excluyentes pueden explicar este resultado.

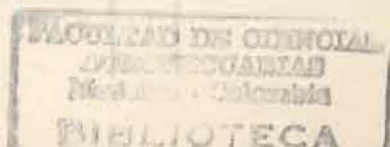
1. El efecto del secado en la mineralización del N en estos suelos se siente durante más tiempo que en otros debido al alto contenido de M.O.
2. Birch (4) considera que la rápida declinación en la mineralización se debe al decrecimiento de la actividad de la población microbiana cuando esta envejece y al hinchamiento del suelo que trae consigo disminución en el área superficial. Es bien conocido que en suelos de cenizas volcánicas de regiones húmedas tal hinchamiento no ocurre, o no es tan grande como en otros suelos, porque son prácticamente irreversibles al secado. Por lo tanto, no recuperan el área superficial que tienen cuando frescos.

Cuadro No. 1

Algunas características importantes de los suelos estudiados

Localidad	Parcela No.	Profundidad. Horizonte cm.	Densidad		M.O. %	Relación C/N	pH en agua
			Aparente g/ml	N Total %			
Piedras Blancas	6	14.4	0.37	0.77	21.9	16.5	5.32
Piedras Blancas	11	15.2	0.45	0.87	24.9	16.6	5.13
Piedras Blancas	8	14.8	0.34	0.94	26.1	16.1	4.95
Caldas	31	17.5	0.35	0.92	23.4	14.8	5.00
Piedras Blancas	4	25.1	0.34	0.77	26.7	20.2	4.88
Caldas	32	21.2	0.34	0.97	26.4	15.8	4.80
Piedras Blancas	15	28.6	0.37	0.77	21.0	15.9	5.00
El Retiro	46	22.7	0.30	0.94	21.8	13.5	5.05
Piedras Blancas	17	21.6	0.33	0.96	28.0	16.1	4.85
Caldas	44	23.6	0.30	0.95	19.8	12.1	5.05
Piedras Blancas	7	21.2	0.41	0.85	25.0	17.1	4.95
Promedio		20.9	0.35	0.84	24.5	16.0	4.99

Robinson (23) ha estudiado el efecto del almacenamiento del suelo seco en la mineralización del N, he informa que humedeciendo el suelo que ha sido almacenado hasta 0.33 bares de succión durante tres semanas previas a la incubación, se puede evitar el exceso de mineralización producido por el almacenamiento. Con el fin de probar la bondad de este pretratamiento se ensayó en suelo de las parcelas 6 y 7 almacenadas durante 7 semanas. Como se puede apreciar en el cuadro 3 el suelo almacenado y pretratado de acuerdo con lo sugerido por Robinson (23), no alcanzó a evitar el efecto del secado del suelo en la mineralización del N en ninguna de las dos parcelas estudiadas, pero sí lo disminuyó con respecto al suelo secado al aire y sin almacenar.



Cuadro No. 2

Mineralización del Nitrógeno durante 2, 4, 6 y 8 semanas de incubación en suelos de cenizas volcánicas secos al aire y frescos cultivados con Cupressus lusitanica (\*)

Nitrógeno Mineralizado																
	Suelo seco al aire semanas								Suelo fresco semanas							
	ppm				kg/ha				ppm				kg/ha			
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
6	61	84	121	155	37.4	44.51	64.7	82.4	6	7	10	14	3.4	4.0	5.3	7.4
31	153	188	210	233	93.8	115.2	126.6	143.0	5	10	15	25	3.4	5.9	9.2	15.5
32	238	262	277	206	171.6	188.9	199.9	206.2	12	18	41	56	8.4	12.9	26.6	26.4
46	233	278	290	303	164.6	189.3	197.5	208.9	14	26	31	38	10.1	15.7	21.1	48.1
44	178	234	250	262	126.0	165.7	177.0	188.6	9	50	60	67	6.4	35.4	42.5	48.1
7	109	142	185	215	94.3	123.8	161.0	106.8	21	28	36	47	18.6	24.2	31.3	40.6

(\*) Cada valor de Nitrógeno mineralizado es el promedio de tres repeticiones.

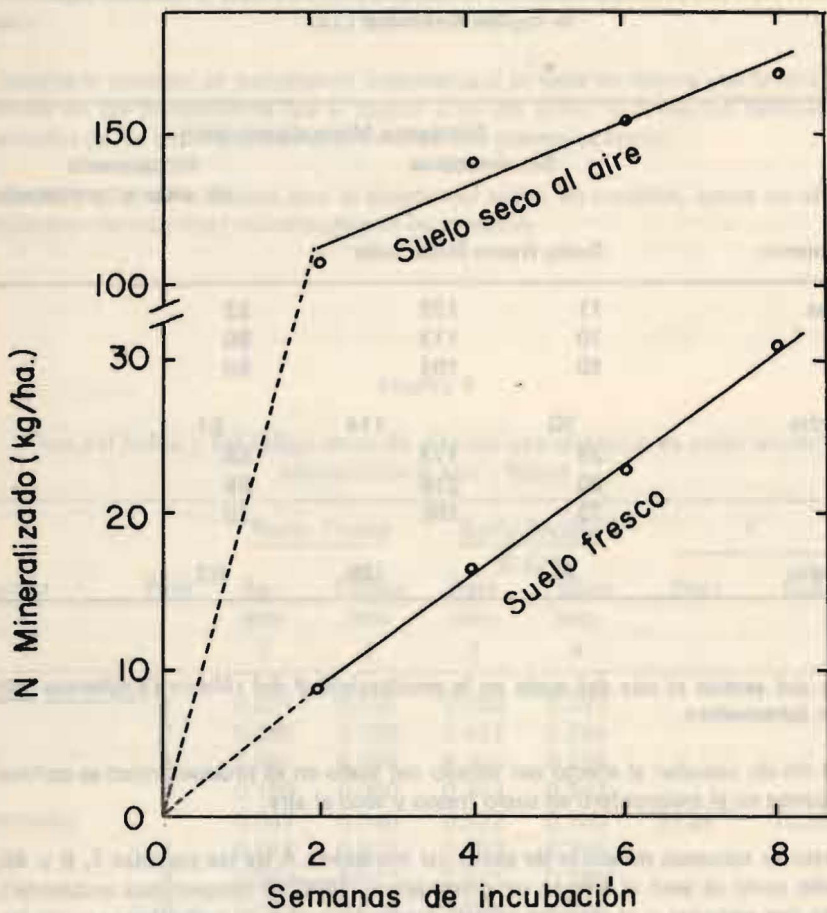


Fig. 1. Comparación entre el N mineralizado en el suelo seco al aire y rehumedecido y el suelo fresco. Cada valor es el promedio de 6 parcelas.

Cuadro No. 3

Comparación entre el Nitrógeno mineralizado durante dos demanas en el suelo fresco, seco al aire y almacenado en este estado durante 7 semanas y luego pretratado por rehumedecimiento hasta 0.33 bares durante 3 semanas según lo sugiere Robinson (23)

Tratamiento	Nitrógeno Mineralizado ppm		
	Sin almacenar		Almacenado en seco y pretratado
	Suelo fresco	Suelo seco	
Parcelas	11	128	52
6	10	113	50
	10	101	50
	Promedio	10	114
7	24	173	53
	29	215	65
	23	166	70
Promedio	25	185	63

**Efecto del secado al aire del suelo en la productividad del rábano (*Raphanus sativus*) en invernadero.**

Con el fin de estudiar el efecto del secado del suelo en su productividad se cultivaron rábanos en el invernadero en suelo fresco y seco al aire.

Para esto se tomaron muestras de suelo del horizonte A de las parcelas 7, 8 y 49; parte del suelo se secó al aire en un invernadero (15°C de temperatura ambiental), durante dos semanas y el resto se guardó fresco en bolsas de polietileno ventiladas.

Los pots en forma de conos truncados y a razón de 4 por cada tratamiento y parcela recibieron 500 g de suelo en base seca.

Se sembraron 8 rábanos por pote dejando solo 4 a 5 después de la germinación de las semillas; la cosecha se hizo a las 4 semanas de la siembra. Como el P disponible en estos suelos es muy bajo (entre 1 y 2 ppm, 28), se hizo una aplicación de 312.5 kg P/ha, o sean 0.240 g de P por pote en forma de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en el agua de riego al comienzo de la siembra tanto para los suelos secos al aire como en los frescos.

El cuadro 4 resume los resultados de este experimento, los rábanos que crecieron en suelo secado al aire previamente en las tres parcelas estudiadas, tuvieron un ren-



dimiento significativamente superior, tanto en el peso de la raíz como el del follaje seco, al de aquellos que crecieron en suelo fresco.

En promedio el peso seco de la parte aérea de los rábanos que crecieron en el suelo secado previamente al aire fue 91% superior al de los que crecieron en el suelo fresco.

El resultado anterior es sumamente interesante si se tiene en cuenta que la única diferencia en los tratamientos fue el secado o no del suelo; se refuerzan también los resultados de los experimentos anteriores de una manera práctica.

Es posible afirmar entonces que el secado del suelo, en realidad, ejerce un efecto fertilizante de magnitud considerable en las cosechas.

**Cuadro 4**

**Peso del bulbo y del follaje secos de rábanos que crecieron en suelo secado previamente al aire y fresco**

Parcela	Pote	Suelo Fresco		Suelo Secado al aire		F	
		Raíz seco g	Follaje seco g	Raíz seco g	Follaje seco g	Raíz	Follaje
49	1	0.051	0.029	0.620	0.327		
	2	0.056	0.028	0.487	0.255		
	3	0.091	0.045	0.200	0.190		
	4	0.180	0.060	0.783	0.347		
Promedio		0.097	0.040	0.522	0.280	32.34**	75.00**
6	1	0.044	0.019	0.893	0.266		
	2	0.040	0.013	0.655	0.289		
	3	0.043	0.018	0.326	0.274		
	4	0.049	0.020	1.481	0.248		
Promedio		0.044	0.018	0.839	0.269	19.80**	628.00**
7	1	0.054	0.019	2.529	0.390		
	2	0.047	0.019	1.660	0.374		
	3	0.072	0.020	0.852	0.314		
	4	0.079	0.027	0.858	0.406		
Promedio		0.063	0.021	1.474	0.371	12.36*	281.61**
Promedio total		0.068	0.026	0.979	0.299		

\*Significativo al 5<sup>o</sup>o.

\*\*Significativo al 1<sup>o</sup>o.

Cuadro No. 5

**Nitrógeno extraído por el follaje de rábanos que crecieron  
en suelo secado al aire previamente y en suelo fresco**

Parcela	Nitrógeno extraído por la cosecha				F
	Suelo Fresco		Suelo Seco		
49	0.086	2.18 <sup>0</sup> /o m.s.	0.715	2.27 <sup>0</sup> /o m.s.	
6	0.032	1.78	1.067	4.05	
7	0.044	2.11	0.834	2.41	
Promedio	0.054	2.02	0.872	2.91	28.28*

\*Significativo al 1<sup>0</sup>/o.

El cuadro 5 indica que la cosecha no sólo creció más en el suelo seco como ya se había mencionado, sino que el follaje también tomó significativamente más N del suelo. El bajo rendimiento del rábano en ambos tratamientos se debe a la reconocida poca fertilidad de estos suelos. En el suelo fresco la raíz no engrosó en casi ninguna de las plantitas.

Al no tener en cuenta el "efecto de Birch" y aplicar en el campo los niveles encontrados en los invernaderos, se están subestimando los requerimientos de N en las plantas. Esta subestimación debe ser más notable en las zonas húmedas con alta capacidad de retención de humedad en los suelos, en las cuales los suelos permanecen siempre húmedos. Si a esto se agrega que este efecto se acentúa con el contenido en M.O. (4) se llega a la conclusión de que en los suelos de cenizas volcánicas, las diferencias entre las respuestas en el invernadero y en el campo a un determinado nivel de fertilización nitrogenada, deben ser bastante grandes.

Con base en estos resultados y en los de los experimentos anteriores, se puede explicar parte de las diferencias que corrientemente se observan al aplicar en el campo los experimentos de invernadero. También es posible explicar resultados anómalos o inconsistentes tales como los reportados por lathwell et al (18) quienes cultivaron en invernadero 5 cosechas de maíz en 10 suelos de Puerto Rico, el N extraído por las plantas disminuyó progresivamente de la 1a. a la 4a. cosecha, después de lo cual el suelo se secó al aire. En la 5a. cosecha las plantas extrajeron casi el doble del N que habían extraído en la 4a. cosecha y más que en la 3a. Aunque los autores no encontraron una explicación a esto, es claro que fue una manifestación del "efecto de Birch".

Varias investigaciones y entre ellas realizadas por Suárez de Castro (27) en Colombia y por Greenland (22) en el Africa han mostrado que las quemadas aumentan el rendimiento de las cosechas. Este resultado se explica con base en la gran cantidad de nutrientes que quedan en las cenizas. Sin embargo, a la luz de la presente investi-

gación, es lógico suponer que una de las causas de este incremento en la producción puede deberse al efecto del aumento de la mineralización especialmente del N inducida por el calentamiento o secamiento.

Otras investigaciones han encontrado que la temperatura acelera o incrementa el efecto del secado en la mineralización (3), las quemaduras aumentarían la temperatura del secado del suelo. Al respecto Vlamiš *et al* (30) encontraron más N inorgánico en los suelos quemados fuertemente que en los quemados suavemente y más en estos que en los no quemados.

Sería de mucha utilidad práctica para quienes realizan los ensayos de invernadero, en razón de un mayor rigor científico y aplicación en el campo de estos ensayos, que tuvieran en cuenta este ensayo aquí descrito. Puede sugerirse, en primer lugar, la eliminación del secado del suelo, especialmente para los de alto contenido de M.O. Como solución alternativa se podría obtener por medio de incubación, estimativos de la magnitud del efecto del secado del suelo en la mineralización del N (y aún del P y del S), con el fin de hacer la corrección correspondiente.

## RESUMEN

El secado al aire y posterior rehumedecimiento del suelo incrementó la mineralización de N considerablemente con respecto al suelo fresco. A las 2 semanas de incubación este incremento llegó a ser de 15 veces y a las 8 semanas de 6 veces.

Se comprobó la importancia práctica de este efecto al demostrar que rábanos cultivados en invernadero en suelo previamente secado al aire durante dos semanas, crecieron más y extrajeron más N del suelo que los que crecieron en suelo conservado fresco.

Un pretratamiento sugerido para evitar el efecto del almacenamiento del suelo seco al aire no resultó totalmente satisfactorio.

Se discute la posibilidad de que el secado-rehumedecimiento del suelo influya en el crecimiento de los cultivos después de las quemaduras, debido al incremento en la mineralización del N.

## LITERATURA CITADA

1. AGARWAL, A.S., SINGH, B.R. y KANEHIRO, Y. Soil nitrogen and carbon mineralization as affected by drying rewetted cycles. *Soil Science Society of American Proceeding* 35: 96-100.
2. BIRCH, H.F. 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 observation on humus decomposition and nitrification. *Plant and Soil* 11: 162-286. 1959.
5. \_\_\_\_\_ The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil*. 10: 9-31. 1958.
6. \_\_\_\_\_ y EMECHEBE, A.M. The effect of soil drying on millet. *Plant and Soil*. 24: 333-335. 1965.
7. BORNEMIZA, E. y PINEDA, R. Minerales amorfos y mineralización del N en suelos derivados de cenizas volcánicas. *In* Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA. B. 7: 1-7. 1969.
8. BREMNER, J.M. Nitrogen availability indexes. *In* Black, C.A. *et al* ed. *Methods of soil analysis*. Part II. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pp. 1238-1255.
9. BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. *In* Black, C.A. *et al* ed *Methods of soil analysis*. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, 1965, pp. 1179-1232.
10. BROADBEN, F.E., JACKMAN, R.H. y McMICOL, J. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. *Soil Science* 98: 118-128. 1964.
11. CHARLEY, J.L. The role of shrubs in nutrient cycling. *In* *Wildland shrubs their biology and utilization*. US. Department of Agriculture. General Technical Report INT - 1 & Intermountain Forest and Range experiment Station. pp. 182-203. 1972.
12. COOKE, G.W. y CUNNINGAM, R.K. Soil nitrogen. III Mineralizable nitrogen determined by and incubation technique. *Journal of Science and Food Agriculture*. 6: 324-330. 1958.
13. CORNFIELD, A.H. Effect of period of air-drying storage of soils on the subsequent accumulation of mineral nitrogen during incubation. *Plant and Soil* 20: 260-264. 1964.

14. GASSER, J.K.P. Effect of air draying and air-dry storage on the mineralizable nitrogen of soil. *Journal of Science and Food Agriculture*. 12: 778-784. 1961.
15. GUSTAFSON, A.F. The effect of drying soils on the water-soluble constituents. *Soil Science*. 13: 173-213. 1922.
16. HARPSTEAD, M.J. y BRAGE, B.L. Storage of soil samples and its effects upon the subsecuent accumulation of nitrate nitrogen during controled incubation. *Soil Science Society of American Proceeding* 22: 326-328. 1958.
17. HAYASHI, R. y HARADA, T. Characterization of the organic nitrogen becoming decomposable throught the effect of drying of soil. *Soil Science and Plant nutrition*. 15: 226-234. 1969.
18. LATHWELL, K.J., DUBEY, H.D. y FOX, R.H. Nitrogen-supplying power of sometropical soils of Puerto Rico and methods for its evaluation. *Agricultural Journal* 18: 419-447. 1924.
19. LEBEDJANTZEV, A.N. Drying of the soil as one of natural factors in maintaining soil fertility. *Soil Science*. 18: 419-447. 1924.
20. MUNRO, D.C. y McKAY, D.C. Effect of incubation methods and storage condition on nitrate production of incubated soil samples. *Soil Science Society of American Proceeding* 28: 778-781. 1964.
21. MUSA, M.M. Seasonal variation in the soil microflora and microbiological activity of the Soundan Gozira soil. *African Soils* 16: 81-90. 1971.
22. NYE, P.H. y GREENLAND, D.J. The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of Soils, Technical Comunication No. 51. 1960.
23. ROBINSON, J.B.O. A simple available soil nitrogen index. I Laboratory and greenhouse studies. *Journal of Soil Science* 19: 269-279. 1968.
24. SEMB, G. y ROBINSON, J.B.D. The natural nitrogen flush in different arable soils and climates East African Agriculture and Forestry Journal. 34: 350-370. 1969.
25. SCHREVEN, D.A. Van The effect of intermitent drying and wetting of calca-reus soils on carbon and nitrogen mineralization. *Plant and Soil* 26: 14-32. 1967.
26. STEVENSON, I.L. Some observation of the microbial activity in remoistened air-dried soils. *Plant and Soil* 8: 170-182. 1956.
27. SUAREZ DE CASTRO, F. Algunos efectos de las quemas sobre el suelo y las cosechas. *CENICAFE*: 4 (41): 9-32, 1953.
28. TSCHINKEL, H. Growth, site factors and nutritional status of Cupressus lusitana plantations in the highlands of Colombia. Disertation. Hamburg, Universitat Hamburg, 1972. 165 p.

29. VALLE, J.I. del. La mineralización del N en suelos de cenizas volcánicas de Colombia y su relación con el crecimiento de Cupressus lusitanica. Turrialba (Costa Rica) 26: 18-23. 1976.
30. VLAMIS, J., BISWEL, H. y SHULTZ, A.M. Effects of prescribed burning on soil fertility in second growth ponderosa pine. Journal of Forestry 53: 905-909. 1955.