

La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microbios en suelos ñadis de Chile

PARTE II: MINERALIZACION DEL CARBONO Y NITROGENO ORGANICOS EN CONDICIONES DE CAMPO¹

Angela Urbina de Alcayaga², Eulogia San Martín V.³ y Roger Schaefer⁴

INTRODUCCION

En 1968 se comenzó un estudio con el objeto de conocer los mecanismos que regulan los ciclos biológicos básicos del ecosistema ñadi.

En la primera parte (Urbina, San Martín y Schaefer, 1969) se estudiaron en el laboratorio, bajo condiciones controladas, algunos aspectos de los ciclos del carbono y del nitrógeno.

En estos estudios se observó que, bajo condiciones óptimas de temperatura (28°C) y en presencia de substratos energéticos, la mineralización del C y del N se aceleraron lo que implicaría la presencia de una población potencialmente activa.

El fósforo tuvo un efecto semejante a partir de cierto nivel, al liberar de sus sitios de adsorción una gran cantidad de carbono fácilmente aprovechable.

Se concluyó que el nitrógeno por sí mismo no sería un factor limitante en la formación de nitratos, pero como los organismos productores de amonio son heterótrofos necesitan substratos energéticos para su desarrollo, y a la postre es el ciclo del C el que detiene al ciclo del N.

Se postuló como factor limitante del proceso de mineralización del C y N, la falta de una fuente de energía disponible, ya que el C estaría parcialmente inmovilizado ya sea biológicamente o bien unido al coloide mineral (Tanibawa, 1966).

¹Recepción manuscrito: 5 de noviembre de 1971.

²Ing. Agr., Centro de Apoyo Suelos y Riego, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

³Ing. Agr., Proyecto de Estudios y Reconocimiento de Suelos Chilenos FAO-UNDP. Departamento de Agrología, DICORA, Servicio Agrícola y Ganadero.

⁴Doctor en Ciencias, Experto FAO - Naciones Unidas. Laboratorio de Ecología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de París, Francia.

En esta segunda parte se estudian estos mismos procesos, pero bajo condiciones naturales, en el bosque.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo de campo se realizó en un suelo Huiño-Huiño, provincia de Osorno (Fundo Westfalia), cubierto por un bosque típico de ñadi, con partes adyacentes desmontadas recientemente por roces a fuego, y parcelas que han estado cultivadas desde 1940 aproximadamente.

1. CARACTERISTICAS FISICAS Y MORFOLOGICAS DEL PERFIL*.

Clasificación de acuerdo a la 7ª aproximación	Aeric Andaquept (duric)
Material generador	Cenizas volcánicas
Fisiografía	Terrazas remanentes planas
Uso actual	Bosque natural
Capacidad de uso	vii
Clase de drenaje	Imperfecto

Caracterización general.

Suelo derivado de cenizas volcánicas, ocupando posiciones de terrazas remanentes planas.

- 0 - 40 Pardo muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; textura franco limosa, estructura granular; muy friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; poros abundantes; raíces abundantes; límite lineal, claro.
- 40 - 50 Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; textura franco limosa; moteado común; estructura en bloques subangulares; muy friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; poros abundantes; raíces comunes; concreciones de hierro y manganeso comunes; límite lineal, claro.
- 50 - 75 Pardo (7,5 YR 5/6) en húmedo; moteado común; textura franco limosa; estructura subangular; friable; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; poros abundantes; raíces comunes; concreciones de hierro y manganeso comunes; límite abrupto, lineal.

*Perfil descrito por el experto FAO-Naciones Unidas, Roger Langohr.

+ de 75 Pardo grisáceo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (2,5 YR 3,5/2) en húmedo; moteado abundante; textura franco limosa; estructura laminar; duro; más compacto; ligeramente adhesivo; poros escasos; concreciones de fierro y manganeso comunes.

2. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS.

	CM DE PROFUNDIDAD		
	0-14	15-25	26-40
Arena%	54,7	54,5	57,6
Limo %	25,2	28,2	26,6
Arcilla %	20,1	17,3	15,8
Textura	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso
Humedad equivalente % TS*	124,3	120,0	106,2
Punto de marchitez permanente % TS	37,3	36,4	37,3
pH 1: 2,5 (H ₂ O)	4,8	4,5	4,9
C orgánico %	17,9	12,4	10,7
Materia orgánica %	30,8	21,3	18,4
N total %	1,12	0,86	0,77
C/N	15,9	14,4	13,8
N nítrico ppm	306,3	229,3	133,0
P aprovechable (Olsen) ppm	8,0	5,2	1,7
K aprovechable ppm	137,0	112,0	83,7
Capacidad total intercambio me/100 g	48,9	30,9	31,2
K de cambio me/100 g	0,35	0,29	0,21
Na de cambio	0,20	0,64	0,31
Mg de cambio	1,62	1,12	0,87
Ca de cambio	2,5	1,50	1,25
% saturación bases	9,55	11,49	8,46

*rs = tierra seca.

Capacidad tampón

Se determinó de acuerdo al método propuesto por Puri (1949).

En la Figura a se presentan las curvas tampón de las tres profundidades a las 24 horas de estar en contacto con la solución de Ca (OH)₂.

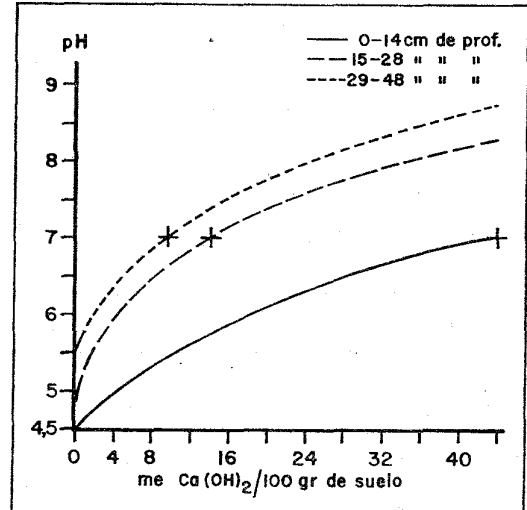


Figura a — Curvas tampón del ñadi Huiño-Huiño.

En la Figura b, están las curvas potenciométricas de las tres profundidades en que se presentan los mililitros y las horas necesarias para llevar el pH a la neutralidad.

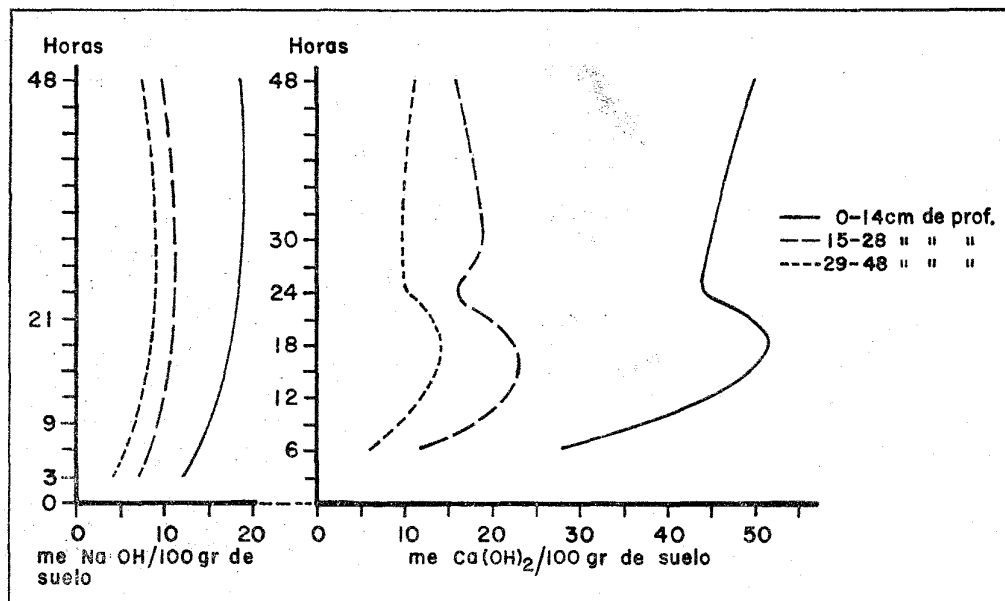


Figura b — Curvas potenciométricas del ñadi Huiño-Huiño.

Relación entre las horas de contacto y los me necesarios para llevar el pH a la neutralidad.

En Septiembre de 1968 se cercó un espacio en el bosque, se limpió de los restos vegetales superficiales y se sacó suelo de tres niveles del horizonte orgánico, que correspondieron a las siguientes profundidades: 0-14; 15-28, y 29-48 cm. Cada subhorizonte se tamizó a 2 mm y se colocó en tarros metálicos de 10 cm de diámetro y 10 cm de altura, de una capacidad de 750 ml. Luego se les colocó una malla fina de nylon y sobre ella se pusieron las tapas a las cuales se les había hecho un orificio central de 6,5 cm de diámetro. Estos tarros fueron enterrados invertidos a la profundidad del muestreo y a un nivel superior o inferior.

El acondicionamiento del suelo y la posición invertida de los tarros permitieron dar condiciones de humedad ideales (80% del agua aprovechable), eliminar la competencia de las raíces de las plantas superiores, la exportación producida por la microfauna y la lixiviación de los nitratos producida por las lluvias. En el interior de los tarros la aireación fue normal ya que la difusión de los gases se efectuó libremente entre los suelos y el medio exterior. En estas condiciones el factor variable fue la temperatura, que reflejaba las variaciones ambientales.

El enterramiento de los tarros se hizo conforme al siguiente esquema, con especial cuidado de ir reponiendo el suelo a su respectivo nivel:

	PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO, CM.		
	0-14	15-28	29-42
Suelo 0-14	12 tarros	12 tarros	—
Suelo 15-28	12 tarros	12 tarros	—
Suelo 29-42	—	—	12 tarros

Al final, se cubrió todo con la hojarasca que se había retirado anteriormente del mismo lugar.

Aproximadamente cada mes se extrajo un juego de tarros y una muestra de suelo natural, a excepción de la época invernal, en la que el acceso al bosque era imposible.

Estas muestras se traían al laboratorio en donde se las homogenizaba y determinaba el N mineral acumulado de acuerdo al método de Bremner y Keeney (1965). Otra parte de la muestra se acondicionaba e incubaba a 28°C para determinar la evolución de CO₂ por el método de arrastre y captación en barita. Se obtuvieron así los siguientes tratamientos:

1 a) Suelo natural, en completo contacto con el medio ambiente. Reflejaba en su comporta-

miento la influencia de todos los factores ambientales, incluyendo los aportes y extracciones.

1 b) Este mismo suelo, al que se le proporcionaron, en el laboratorio, las condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireación.

2 a) Suelos acondicionados en los tarros colocados en el bosque. En la fecha del entierro estos suelos se desconectaron parcialmente del medio físico-químico y totalmente del medio biótico.

2 b) Los suelos de 2 a) que se sometieron, en el laboratorio, a condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireación para tratar de poner así en evidencia la capacidad de mineralización de una muestra de suelo en una fecha dada, aislada de los cambios que modifican continuamente el medio exterior.

Al terminar el ensayo se obtuvo una tendencia que indicó la variación estacional [1 a)], el efecto de una activación térmica [1 b)], la acumulación potencial *in situ* [2 a)] y la acumulación potencial bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad y aireación [2 b)].

Sin embargo, uno solo de estos tratamientos no fue suficiente para establecer la actividad biológica global y el potencial de acumulación de nitratos; fue necesario comparar las cuatro curvas resultantes de los tratamientos antes mencionados [1 a); 1 b); 2 a); 2 b)] y confrontarlas con las de desprendimiento de CO₂ para llegar a una interpretación adecuada y a una posible previsión de la dinámica del N y del C en el suelo.

Al establecer el ensayo en el bosque, junto a los tarros se pusieron bolsitas de nylon que contenían 5 gramos de celulosa (papel filtro) con el objeto de medir la degradación de la celulosa a través del ciclo estacional. Al extraer los tarros se sacaron bolsitas de cada una de las tres profundidades a las que en el laboratorio se les determinó su peso, cuya disminución, con las correcciones necesarias, indicaba la velocidad de transformación de la celulosa.

RESULTADOS Y DISCUSION

CICLO DEL CARBONO.

a) Mineralización del C orgánico.

En la Figura 1 están representadas las precipitaciones mensuales del período en que se realizó el ensayo, según los datos de la oficina meteorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y del Servicio Agrícola Ganade-

ro, ubicada en Cañal Bajo en la provincia de Osorno. En la misma figura se muestran las temperaturas medias mensuales del suelo, medidas a 10 y 50 cm de profundidad. Es notable la clara oposición entre los meses más secos que corresponden al máximo térmico y los meses con mayor caída pluviométrica que corresponde a los meses más fríos del año.

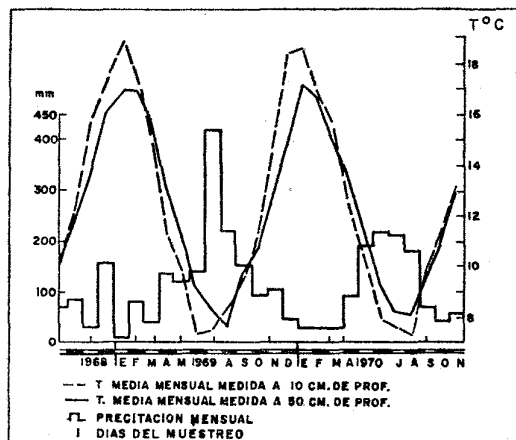


Figura 1 — Distribución de la precipitación mensual y temperaturas medias mensuales medidas a 10 y 50 cm de profundidad.

En la Figura 2 está representada la tasa de mineralización del suelo de los tarros incubados a 28°C durante 30 días de los tres subhorizontes del suelo orgánico. Se entiende por tasa de mineralización la relación entre el C desprendido como CO₂, es decir respirado, y el contenido de C orgánico natural y se expresa así:

$$Tm = \frac{C(CO_2) \times 100}{C \text{ orgánico}}$$

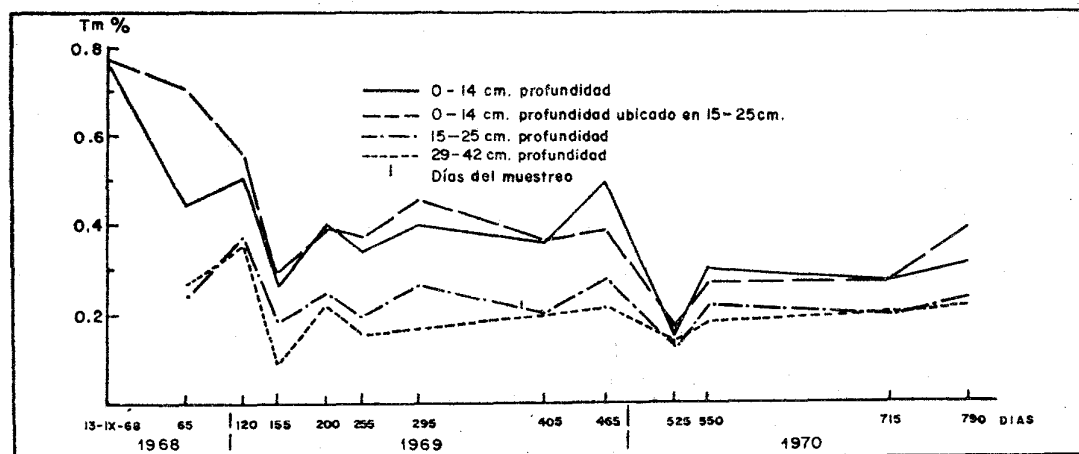


Figura 2 — Tasa de mineralización (Tm) del C orgánico del ñadi Huiño-Huiño.

La homogenización y aireación producidas por el tamizaje y el ajuste a un óptimo de humedad, en todos los casos aceleraron inicialmente el proceso de mineralización del carbono orgánico, fenómeno ya observado por Stevenson (1956); luego se restableció un régimen de respiración que fue bajando regular y paralelamente, lo que indicaría una similitud en los procesos catabólicos de los tres niveles del horizonte humífero; la tasa de mineralización diferente, indicaría que *in situ* el carbono orgánico del nivel profundo es algo menos aprovechable.

El ritmo de la mineralización fue semejante en los suelos de las tres profundidades; sin embargo, el primer nivel mostró la mayor actividad (Sittler y Lossaint, 1961). Se observó en las tres curvas de respiración un máximo al final de la primavera seguido de un descenso abrupto pero temporal en el verano (Nguyen, Vedy y Duchaufur, 1969). Este descenso sería causado por el agotamiento del material energético, consumido por efecto de la activación térmica, Figura 1.

Los suelos acondicionados en los tarros y colocados en otro nivel, no mostraron cambios notables en la actividad respiratoria, cuando fueron incubados a 28°C en el laboratorio (Jacquin y Mangenot, 1959).

La capacidad de activación de estos mismos suelos perduró después de más de dos años sin recibir aportes de material orgánico fresco; sin embargo, la curva respiratoria del suelo superficial, con el tiempo se acercó a la de los dos niveles inferiores, lo que significaría que su fracción energética fácilmente aprovechable se agotó, o bien se transformó en humus estabilizado.

Llama la atención que tanto las curvas de

respiración como las de nitrificación muestren un descenso abrupto en la mitad del verano.

En el bosque no se observa una acumulación de hojarasca a pesar del aporte continuo proveniente de las especies perennes que predominan, lo que comprobaría que hay una degradación y humificación muy rápida que no permite la formación de un depósito de material vegetal sobre el suelo (Winsor y Pollar, 1956). Los productos humificados al entrar en contacto con el suelo cambian su velocidad de mineralización, la que se hace lenta pero que continúa por largo tiempo, como lo demuestran los suelos de los tarros que no han tenido aportes de material vegetal fresco, Figura 2. Este carbono mineralizado podría provenir de una fracción lentamente aprovechable, lo que estaría demostrando el poder de regulación del coloide mineral en el ciclo del carbono.

Los mismos suelos, acondicionados en los tarros y ubicados a distintas profundidades, no mostraron mayores diferencias de actividad, lo que podría deberse a la coincidencia entre las curvas térmicas del suelo entre los 10 y 50 cm y, por lo tanto, el suelo *in situ* tiene un régimen modal de temperatura que es semejante en los tres niveles, Figura 1.

La oscilación térmica anual del suelo superficial es de poca amplitud (11°C). A los 50 cm esta oscilación es de 9°C que es sorprendentemente alta para esta profundidad. Este efecto podría estar relacionado con la presencia de la napa freática que tiene una temperatura baja constante, ya que de acuerdo a mediciones hechas en el mismo lugar, la temperatura de la napa varió de $10,5^{\circ}\text{C}$ a 13°C a través del año.

Es así como el subhorizonte B es sometido a una misma activación térmica estacional que el nivel I y, por eso, la profundidad en que se ubicaron los tarros no tuvo mayor influencia.

b) Degradación de la celulosa.

La actividad celulolítica se midió en los 3 niveles del suelo en un plazo de 18 meses.

Se puede decir que, en general, hubo una relación directa entre la tasa de degradación y la estación climática, Figura 3, presentando una aceleración en verano, cuando baja el nivel freático. Se nota, además, un atraso progresivo en el despertar de la actividad, entre la superficie y el nivel profundo, debido a las diferencias de temperatura y de contenido de agua y aire; esta diferencia fue de 2 meses entre el primer y tercer nivel. Al acercarse el invierno, la actividad en el nivel profundo fue frenada por el exceso de agua y la temperatu-

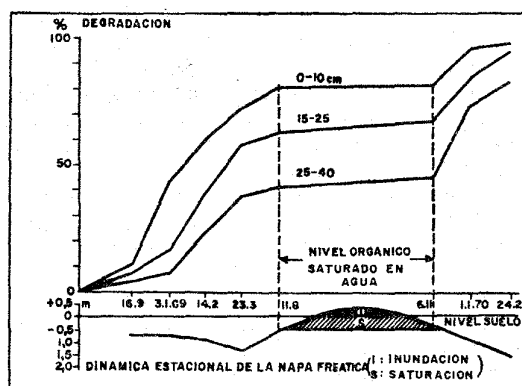


Figura 3 — Actividad celulolítica en suelos fñadis.

ra más baja de la napa freática. En el período de inundación invernal la actividad celulolítica casi se detuvo. Al bajar el nivel freático, la actividad se inició nuevamente.

Al comienzo hubo una diferencia en el grado de ataque en los diversos niveles, que correspondió a las diferencias de las tasas de materia orgánica; esta diferencia se redujo al reiniciarse la actividad y el nivel profundo resultó ser el más activo, lo que se podría explicar por una mayor acumulación de metabolitos intermediarios de la degradación de celulosa en el estado de submersión, productos que posteriormente se descompusieron en aerobiosis.

Este tipo de ensayo permite proyectar sus resultados a lo que le ocurre a la masa radicular muerta en las distintas profundidades del suelo.

La degradación de la celulosa fue rápida ya que un 50% del papel había desaparecido en 120, 175 y 425 días en el primer, segundo y tercer nivel, respectivamente. Sin embargo, hay que destacar que este proceso depende directamente de la oscilación del nivel freático con su consiguiente efecto térmico.

CICLO DEL NITRÓGENO.

a) Acumulación de nitrógeno mineral.

El suelo natural mostró marcadas fluctuaciones en la acumulación de nitratos que siguieron un ritmo estacional cuyo máximo se presentó en los meses de octubre y noviembre y su mínimo en los meses invernales, junio y julio, Figura 4.

El suelo natural mostró marcadas fluctuaciones en la acumulación de nitratos, variando entre menos de 10 ppm en invierno a más de 200 ppm en primavera (Winsor, 1958).

En la Figura 4 se destaca la semejanza en-

tre la curva de acumulación de nitratos del suelo superficial y las curvas de temperatura media mensual del suelo, medidas a 10 cm de profundidad. Los máximos de acumulación de nitrógeno mineral coinciden con los máximos térmicos, y los mínimos de acumulación con los mínimos térmicos.

En el segundo subhorizonte se produjo una modulación semejante, pero mucho más atenuada, y en el horizonte profundo casi desapareció.

Llama la atención, en las curvas de acumulación de nitratos, el descenso brusco que se produce después del máximo, aunque la temperatura del suelo aún es de 15 a 17°C.

Si se atribuyera este efecto a una falta de humedad, ya que se presenta en los meses de enero y febrero, época en que el nivel freático ha bajado a más de 1,20 m de profundidad, en los suelos de los tarros no debería ocurrir, porque ellos tienen humedad suficiente (114 a 142%); sin embargo, este descenso se presenta aunque en forma más atenuada, como lo demuestra la Figura 5.

Estos mismos suelos al ser incubados, proporcionándoseles condiciones óptimas de humedad y temperatura, vuelven a presentar el mismo fenómeno, de modo que esta caída parece ser consecuencia de fluctuaciones propias de la micropoblación del suelo.

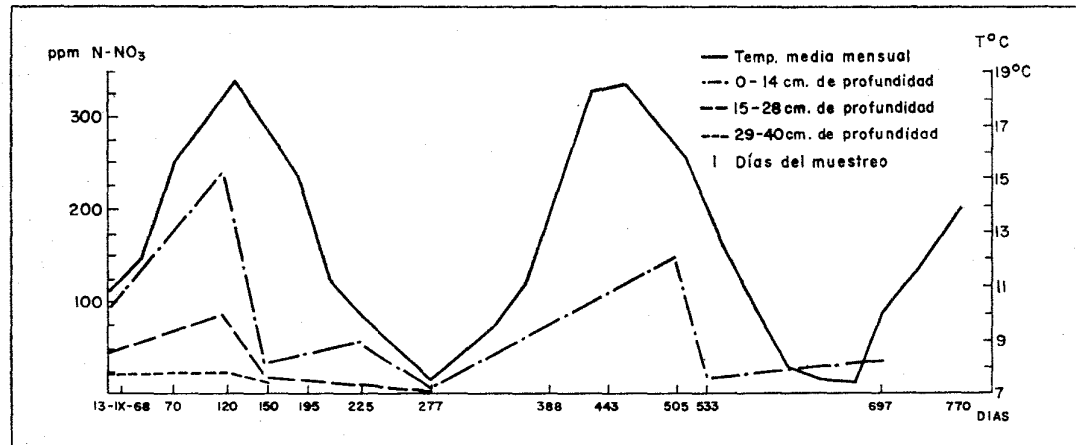


Figura 4 — Curvas de temperatura media mensual del suelo y de acumulación de nitratos de tres profundidades del suelo ñadi Huiño-Huiño.

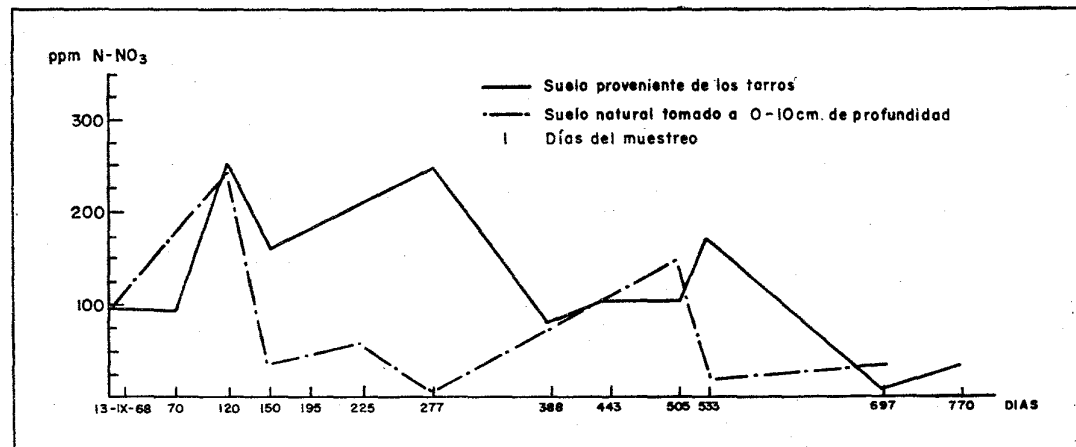


Figura 5 — Curvas de acumulación de nitratos del suelo natural y del proveniente de los tarros, incubados a 28°C.

Los suelos acondicionados en tarros y ubicados en su propio nivel mostraron una variación estacional que fue muy marcada en el subhorizonte superficial, se atenúa bastante en el segundo y es muy leve en el nivel profundo, Figura 6.

Las mayores fluctuaciones del horizonte superficial pueden deberse a la naturaleza del material orgánico que está recién incorporado al suelo y que, por lo tanto, es el asiento de una serie de procesos de transformación (Ovington, 1965). En los horizontes más profundos, la materia orgánica se encuentra to-

talmente humificada, relativamente estabilizada, con fuertes mecanismos de regulación, presentando poblaciones especializadas y en menor cantidad que en el horizonte superficial. El suelo proveniente de estos tarros, al ser incubados, mostraron las mismas tendencias, es decir, mantuvieron el ritmo, aunque desplazado a contenidos más altos de nitratos, Figura 7.

Cuando se invierte la posición de los suelos, el horizonte superficial puesto en el segundo nivel, muestra una curva que se suaviza a pesar de mantener los niveles de acumulación,

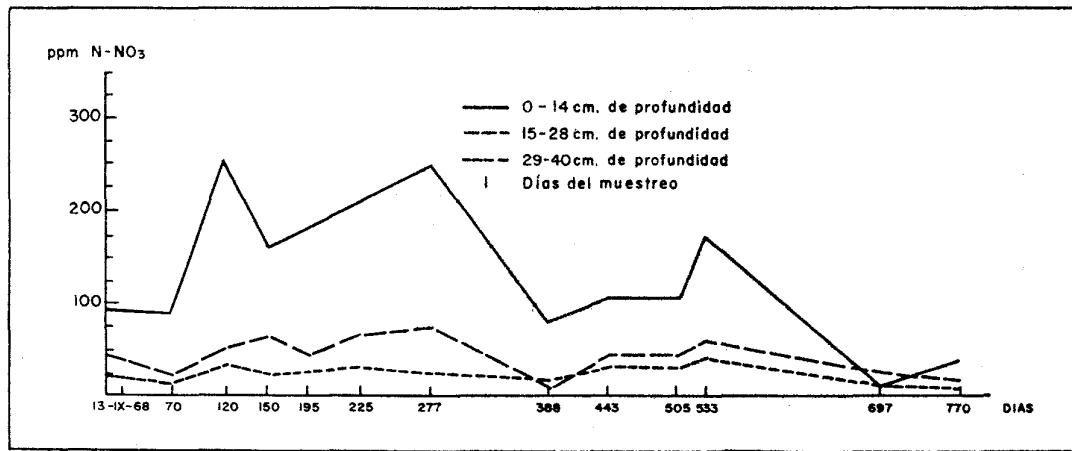


Figura 6 — Curvas de acumulación de nitratos de los suelos acondicionados en los tarros.

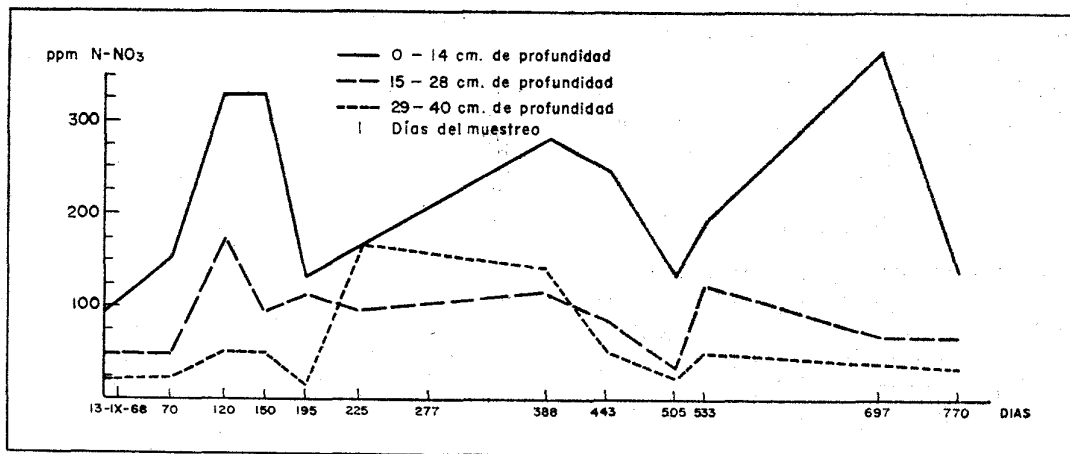


Figura 7 — Curvas de acumulación de nitratos de los suelos provenientes de los tarros e incubados a 28°C.

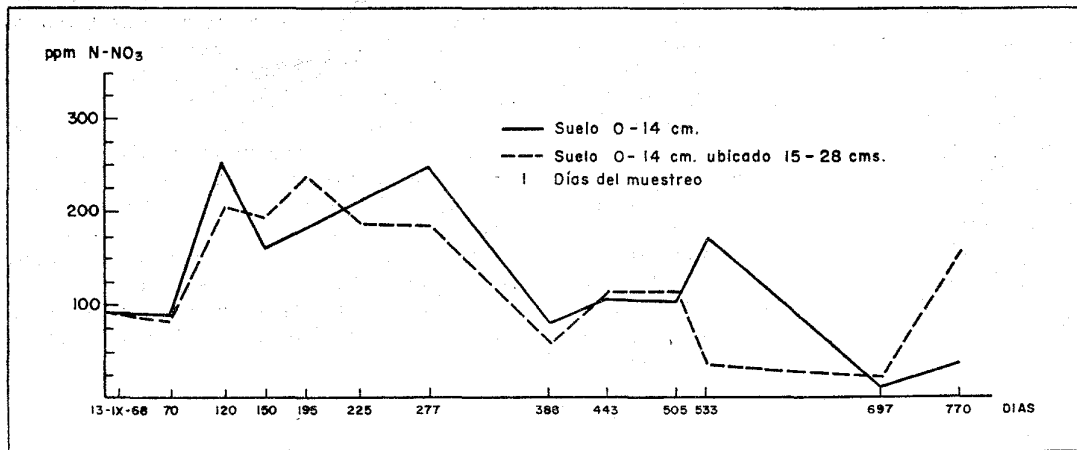


Figura 8 — Acumulación de nitratos del suelo superficial ubicado en su propio nivel y a 15-28 cm de profundidad.

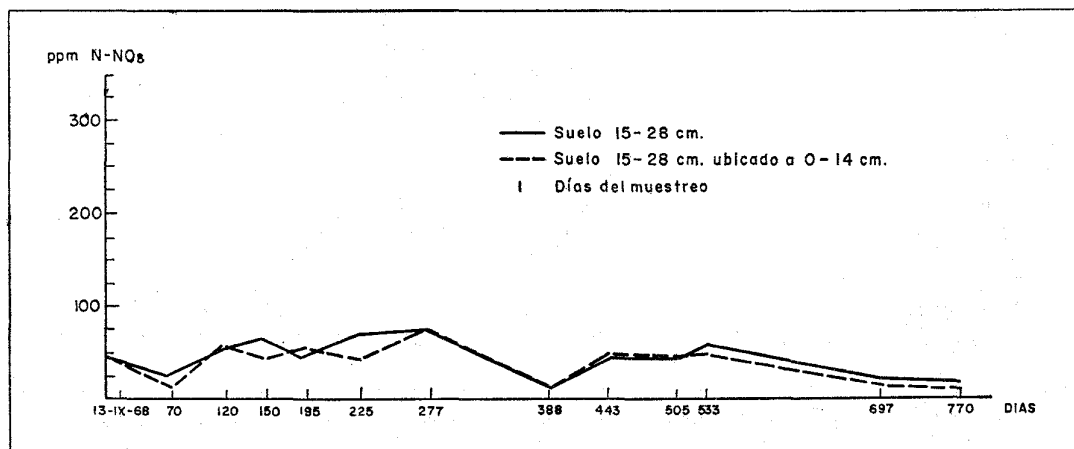


Figura 9 — Acumulación de nitratos del subhorizonte 15-28 cm ubicado en el horizonte superficial y en su propio nivel.

Figura 8. El segundo horizonte puesto en la superficie no presenta diferencias, Figura 9, lo que se explicaría porque las sumas térmicas de ambas profundidades difieren muy poco.

La incubación, no cambia el ritmo general, sino que los niveles de acumulación de nitratos son mayores, Figuras 10 y 11.

CONCLUSIONES

La mineralización del C y N orgánicos de los suelos ñadis *in situ* tiene una variación estacional que coincide con las curvas de los promedios térmicos mensuales, presentando un máximo avanzada la primavera, y un mínimo en invierno, época de mayor pluviometría y menor temperatura.

La desaparición de los nitratos en la época invernal se puede deber más que a una inmo-

vilización, a una lixiviación por las aguas de las lluvias.

Sin embargo, la caída de la curva cuando aún hay 15 a 17°C se puede deber a factores intrínsecos de las poblaciones microbianas del suelo.

La suma térmica no es responsable de las diferencias marcadas entre las curvas de las tres profundidades, sino más bien la cantidad y naturaleza de la materia orgánica, menos humificada en la superficie, más estable y polimerizada en los horizontes profundos.

La mineralización del C en condiciones naturales, es continua pero lenta, lo que está indicando que hay factores que están regulando todo el sistema; los más importantes tal vez sean el poder de sorción del coloide mineral, la naturaleza del coloide orgánico, etc., que le dan al suelo, además de otras características, un fuerte poder tampón.

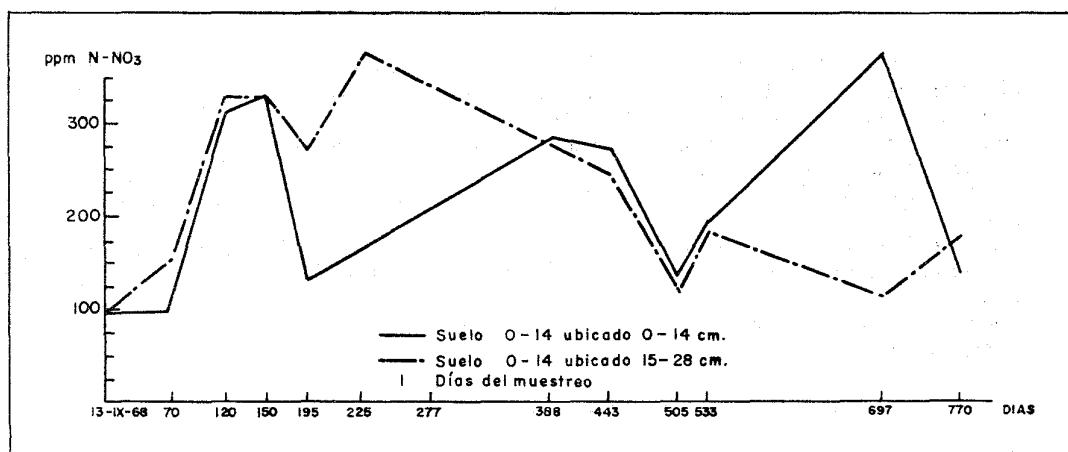


Figura 10 — Acumulación de nitratos del suelo superficial, proveniente de los tarros ubicados a 0-14 cm y a 15-28 cm de profundidad, incubados a 28°C.

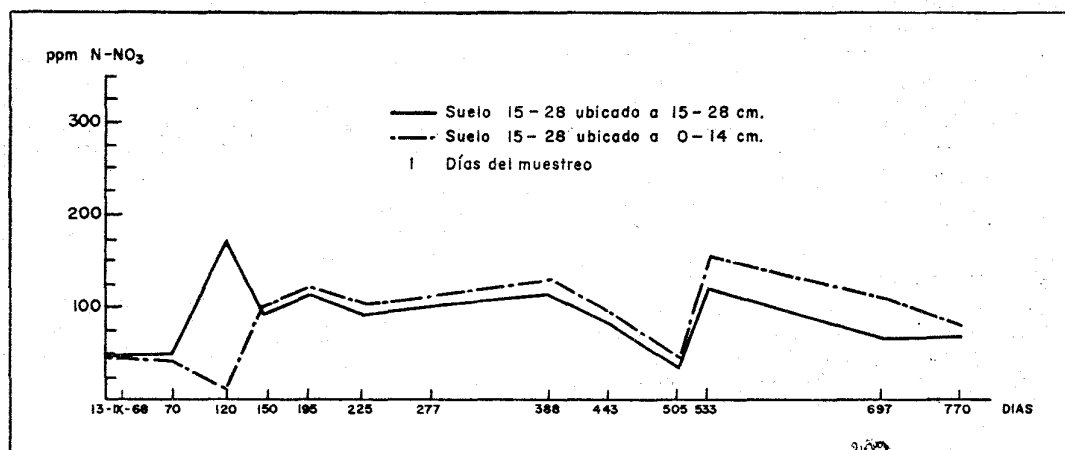


Figura 11 — Acumulación de nitratos del suelo del segundo subhorizonte ubicado en el nivel superficial y en su propio nivel, incubados a 28°C.

RESUMEN

En esta segunda parte se estudió la mineralización del C y N orgánicos en condiciones naturales de un suelo ñadi. La metodología empleada permitió aislar el efecto de factores que limitan los procesos estudiados, a saber, suma térmica, humedad, disponibilidad de substratos, extracción de nitratos por las raíces, arrastre por las aguas y exportación de la fauna.

El nivel superficial se destacó por las fluctuaciones estacionales más amplias y su mayor nivel de actividad.

La modulación estacional presentó un máximo de acumulación de N nítrico en primavera y un mínimo en invierno, los que coincidieron con los máximos y mínimos térmicos.

La mineralización del C se hizo paulatinamente; eso implicaría una movilización continua de formas de reserva.

SUMMARY

The present section of this study evaluated the mineralization of organic carbon and nitrogen under normal conditions in a "ñadi" soil. The method used allowed to isolate the effect of those variables that act as limiting factors on the processes studied, namely temperature, moisture, nutrient availability, root nitrate extraction, water runoff, and animal removal.

The surface level showed the widest seasonal fluctuations, and also the highest activity level.

Seasonal modulation showed maximum nitric nitrogen accumulation in spring, and minimum accumulation in winter, periods that coincide with highest and lowest temperatures.

Carbon mineralization is a gradual process, implying the continuous movement of reserve forms.

LITERATURA CITADA

- BIRCH, H. F. January, 1960. Nitrification in soils after different periods of dryness. *Plant and soil*. 12 (1).
- BREMNER, J. M. and KEENEY, D. R. 1965. *Analyt. Chim. Acta*. 32: 485-495.
- JACQUIN, F. and MANGENOT, F. 1959. Populations microbiennes de bois. III. Humification *in vitro* d'une sciure de hêtre. *Plant and soil*. 11: 377-391.
- NGUYEN, KHA, VEDY, J. C. et DUCHAUFOR, PH. 1969. Etude expérimentale de l'évolution saisonnière des composés humiques en climat tempéré. *Pedologie*. 19 (1): 5-22.
- OVINGTON, J. D. 1965. Organic production, turnover and mineral cycling in woodlands. *Biol. Rev.* 40: 295-336.
- PURI, A. N. 1949. *Soils; their physics and chemistry*. New York. Reinhold.
- SITTLER, B. et LOSSAINT, P. 1961. Humification du bois dans les troncs creux de saule (*Salix alba* L.). Evolution de quelques propriétés biochimiques au cours de la décomposition *in situ*. *Bull. Assoc. Philomath. Als. et Lorr.* 11 (2): 75-88.
- STEVENSON, I. L. 1956. Some observations on the microbial activity in remoistened air dried soils. *Plant and soil*. 8 (2) Rec.
- TANIBAWA, W. 1966. Effects of compost application on crop yield and soil properties in volcanic ash soils. *Bull. Kyushu Agric. Exp. Sta.* 12: 103-118.
- URBINA, A., SAN MARTIN, E. y SCHAEFER, R. 1969. La actividad metabólica de algunos grupos fisiológicos de microbios en suelos ñadis de Chile. I. Mineralización del C y N orgánicos en condiciones de laboratorio. *Agricultura Técnica (Chile)*. 29 (4): 145-160.
- WINSOR, G. W. 1958. Mineralization and immobilization of nitrogen in soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 7:792-801.
- and POLLARD, A. G. 1956. Carbon nitrogen relationships in soil. II. Quantitative relationships between nitrogen immobilized and carbon added to the soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 7:142-149.