

ESTIMACIÓN DEL NITRÓGENO POTENCIALMENTE MINERALIZABLE EN BASE A VALORES DE CARBONO ORGÁNICO¹

Predicting potentially mineralizable nitrogen based on organic carbon

María Teresa Varnero M.²; Carlos Benavides Z.², José Miguel Reyes P.³ y Manuel Casanova P.²

SUMMARY

The effect of residue management and surface thermal «regimen» on soil nitrogen mineralization «capacity» and soil organic matter content was studied. Fifteen soils from cold mesophyle regions (average temperatures less than 15 °C during 60% of the year) and fifteen soils from warm mesophyle regions (average temperatures greater than 20 °C during 60% of the year) were used on this study.

Organic carbon content was determined by three methods: Walkley and Black, Anne and Calcination. Potentially «mineralizable» nitrogen (N_0) was determined by the method of Stanford and Smith (1972), by incubation at 35 °C for 18 weeks. Values for N_0 were stimated by two kinetic models: simple and double exponential.

The different management systems produced changes in organic carbon content and an increase in levels of N_0 . The relationship between N_0 and organic carbon content is promisory as long as data come from homogeneous conditions in terms of thermal, textural and drainage factors.

Key words: organic carbon, potentially mineralizable nitrogen, soil organic matter, surface temperature soil.

INTRODUCCIÓN

En la racionalización del uso del nitrógeno (N) en agricultura, un tema prioritario, por razones económicas y ambientales, es el mejoramiento de la calidad de las recomendaciones de fertilización nitrogenada realizadas por los servicios de suelos, los cuales se ven imposibilitados para evaluar objetiva y flexiblemente en base a muestras, la contribución de la mineralización al suministro de N de los suelos.

La capacidad de suministro de N depende del nivel de nitrógeno potencialmente mineralizable (N_0), parámetro que permite estimar cuantitativamente la mineralización del N (Stanford, 1982). Los factores más influyentes en el contenido de N mineralizable son el clima, el tipo de suelo y las prácticas de manejo (Verberne *et al.*, 1990).

Bajo un régimen térmico y de reciclaje de residuos vegetales definidos, la acumulación de MO y del nitrógeno orgánico (NO) están influenciadas por las características texturales y condiciones hídricas del

suelo (Burke, 1989), observándose que existe una relación inversa entre el contenido de MO y el promedio anual de temperatura del suelo, aumentando de 2 a 3 veces por cada 10 °C de disminución térmica (Campbell, 1979). Además, el factor temperatura ejerce un marcado efecto en las tasas de mineralización del NO *in situ*, presentando un coeficiente Q_{10} igual a 2 (Honeycut *et al.*, 1988). Por otra parte, Sierra y Rodríguez (1986), demostraron una clara incidencia de la intensidad del reciclaje de residuos sobre los niveles de N mineralizable y total, cuando se consideran sistemas edafoclimáticos definidos.

La medición del N_0 según el método de Stanford y Smith (1972) no es rutinizable y ha motivado la búsqueda de predictores en base a índices químicos. Se pueden citar tres líneas principales de trabajo en este ámbito: a) métodos que miden NH_4^+ destilable (fracción I) liberado por tratamiento en autoclave de suspensiones en $CaCl_2$ diluido (Stanford y DeMar, 1969; Stanford y Smith, 1976); b) métodos que miden NH_4^+ destilable liberado por hidrólisis alcalina (Rojas, 1992) y c) métodos que miden NH_4^+ destilable liberado por oxidación con permanganato en medio ácido (Stanford y Smith, 1978).

La aplicabilidad de estas metodologías presenta restricciones en un significativo número de suelos

¹Recepción de originales: 23 de junio de 1995.

Proyecto financiado por FONDECYT 90-0939.

²Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago, Chile.

³Tesista.

en la zona central de Chile, debido a la presencia de carbonatos en el horizonte superficial (Valle del Maipo). Al respecto, Varnero *et al.* (1992), encontraron correlaciones aceptables con NH_4^+ -permanaganato versus N_0 , previa reclasificación de las muestras en base a contenido de carbonato y concentración del H_2SO_4 empleado en la extracción ácida. Por otra parte, los suelos con carbonato se alejan notoriamente de la relación N_0 vs NH_4^+ -borato obtenida por Rojas (1992), para un amplio grupo de suelos en el país. En el caso de la correlación NH_4^+ -autoclave vs N mineralizable y/o N_0 (Stanford y DeMar, 1969; Stanford y Smith, 1976), se han obtenido relativamente buenos resultados al eliminar del análisis los suelos con carbonato. De manera que ninguno de los índices citados puede considerarse de aplicabilidad general, dentro de la zona estudiada, la cual muestra contenidos variables de carbonatos.

Keeney (1982), en un replanteamiento del problema de la estimación de la mineralización del N, señala que sería suficiente la utilización de un índice fuertemente relacionado como es el contenido de MO de los suelos (en esencia CO), en conjunto con información adicional tal como tipo de suelo, rendimientos e historial de manejo. De hecho, en varios estados norteamericanos se emplea actualmente el contenido de MO, directa o indirectamente, para estimar el N mineralizable. Según Keeney (1982), esta aproximación podría proporcionar suficiente precisión para su empleo en la formulación de recomendaciones de fertilización nitrogenada.

Se puede postular que para la obtención de un grado aceptable de precisión en la relación N mineralizable (o N_0) vs CO, el universo muestral debería ser homogéneo en términos de clase textural, clase de drenaje y régimen térmico del suelo. El control de estos factores, permite esperar que tanto el grado de protección de la MO (CO y NO), como la tasa de descomposición de los residuos sean similares en los diferentes sitios, determinándose una acumulación de N mineralizable y de carbono orgánico (CO) a niveles que primariamente dependerán en cada caso, de la tasa de incorporación de residuos asociada a cada tipo de manejo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar una vía de estimación del N_0 , utilizándose como índices químicos, valores de CO obtenidos por métodos que difieren en su grado de oxidación, a partir de muestras de suelos texturalmente similares, bien drenados, con o sin carbonatos y seleccionadas en función del manejo de residuos y del régimen térmico del suelo en la Zona Central de Riego (Proyecto Maipo).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon 30 suelos (0-20 cm profundidad) de la Zona Central de Riego (Chile-CNR, 1981), en un área que comprende la mayor parte de la Región Metropolitana y que incluye la comuna de San José de Maipo, parte de la comuna de Casablanca (V Región) y la comuna de Mostazal (VI Región). El muestreo se orientó a obtener suelos de agrupación textural media y bien drenados, de acuerdo con el material cartográfico del Proyecto Maipo (Chile-CNR, 1981). Estos fueron seleccionados en base a dos regímenes térmicos del suelo (mesófilo cálido y mesófilo frío) y a cuatro sistemas de manejo de los residuos que implicaban distintos niveles de reciclaje orgánico. Se muestrearon los siguientes sistemas de manejo: monocultivo de cereales con quema de rastrojos (I), rotación chacra-cereal-pasto (II), pradera con talajeo directo (III) y sistema hortícola con manejo orgánico intenso (IV).

Se utilizó la sectorización de regímenes térmicos desarrollada por Santibáñez *et al.* (1992), para el área del Proyecto Maipo de acuerdo con la temperatura media mensual del horizonte superficial del suelo (0-10 cm). En esta se definieron dos sectores térmicos: Mesófilo Frío (sector A, con 60% de los días del año con temperaturas promedios inferiores a 15°C) y Mesófilo Cálido (sector B, con 60% de los días del año con temperaturas promedios superiores a 20°C). Según esta clasificación (Figura 1), cada sector térmico quedó representado por 15 sitios, sobre la base de una relativa constancia de la clase textural y de drenaje de los suelos.

En cada sitio se determinó clase textural y N total (Black, 1965). En la medición de CO se usaron 3 metodologías: Walkley y Black (Black, 1965), Anne (Anne, 1945) y calcinación a 600 °C (Jackson, 1970).

El N mineralizado se midió según la metodología de Stanford y Smith (1972), incubándose las muestras de suelo isotérmicamente a 35 °C, durante un período de 18 semanas. Se realizaron 9 percolaciones en triplicado por períodos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 y 18 semanas. Se midió el N mineralizado por destilación con arrastre de vapor de agua, recibiendo el destilado en una solución de ácido bórico al 2% con una mezcla de indicadores (rojo de metilo y verde bromocresol).

La estimación del N_0 se efectuó mediante regresión no lineal con el método de Marquardt (programa computacional Statgraphics), en base a dos modelos cinéticos (Deans *et al.*, 1986; Molina *et al.*, 1980). Éstos se describen a continuación:

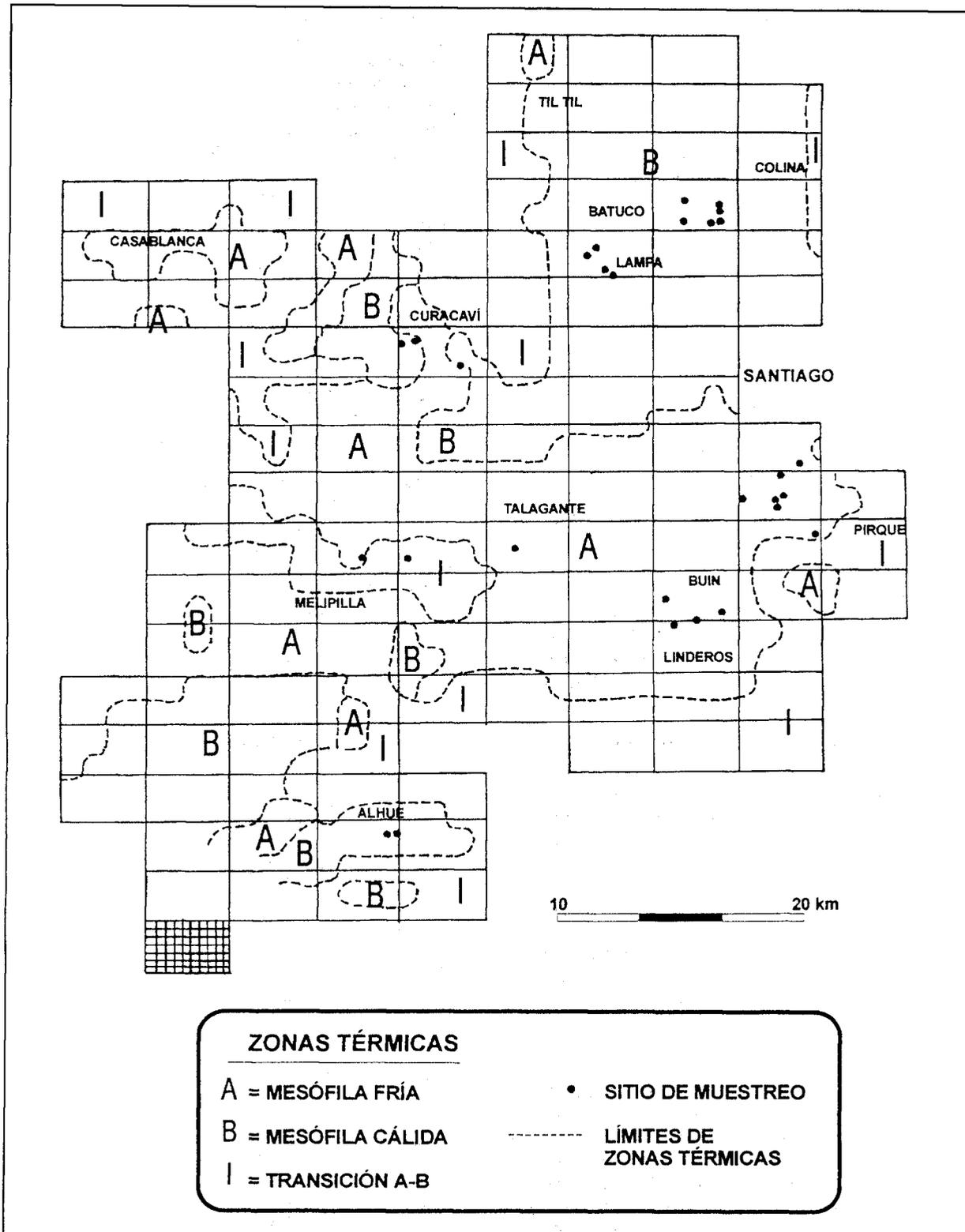


FIGURA 1. Área del Proyecto Maipo dividida en Mesófilo Frío (A), Mesófilo Cálido (B) y Zona Intermedia (I), según la temperatura promedio superficial del suelo.

FIGURE 1. Maipo Project coverage; thermal regimens are divided in: Cold mesophyle (A), Warm mesophyle (B) and Intermediate regions (I).

a) Exponencial Simple

$$N_t = N_o (1 - e^{-kt}) \quad [1]$$

Donde:

N_t = N mineralizado en el tiempo t.
 N_o = N potencialmente mineralizable.
 K = Constante de mineralización.
 t = Tiempo.

b) Exponencial Doble

$$N_t = N_{ol} (1 - e^{-ht}) + N_{or} (1 - e^{-kt}) \quad [2]$$

Donde:

N_t = N mineralizado en el tiempo t.
 N_{ol} = N_o de la fracción lábil.
 N_{or} = N_o de la fracción estabilizada.
 h = Constante de mineralización de la fracción lábil.
 k = Constante de mineralización de la fracción resistente.
 t = Tiempo.

Para obtener un índice del N_o se correlacionó el N_o calculado en base a los dos modelos cinéticos (ecuaciones 1 y 2), con el CO medido por Walkley-Black (CO_{W-B}), Anne (C_{Anne}) y método de calcinación (CO_{calc}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se detallan las unidades cartográficas, clases de manejo y clasificación taxonómica de los suelos de los diferentes sitios muestreados.

Los resultados de la caracterización textural, contenido total de nitrógeno, fracciones de CO y presencia de carbonato (reacción cualitativa) se presentan en el Cuadro 2. Se observa que el muestreo se mantuvo dentro de la agrupación textural D (Cuadro 1), aproximadamente en un 80% de los casos, correspondiendo al sector térmico B un predominio de suelos con clase textural más gruesa.

Se encontraron diferencias marcadas en el contenido de carbonatos entre los sectores A y B (Cuadro 2), siendo relativamente abundantes en el sector A y escasos en el sector B, lo cual es una consecuencia atribuible a diferencias en la calidad del agua de riego utilizada (Chile-INIA, 1975). Se observa que los suelos del sector A presentan valores promedio de N_t y CO mayores que los del sector B, lo que se puede atribuir al efecto de las diferencias térmicas y del manejo.

Los resultados obtenidos de la determinación de CO (Cuadro 2), en base a diferentes niveles de oxidación, concuerdan con lo que señala la literatura en que el método de calcinación permite teóricamente la recuperación total del CO del suelo, con una cierta sobreestimación debido a la alta temperatura empleada (Jackson, 1970). En el caso del CO_{Anne} se aprecia una recuperación del CO, con respecto a CO_{calc} , que oscila entre un 52,4% a 75,3% en el sector A y de 34,2% a 75,6% en el sector B. En la determinación del CO_{W-B} , el porcentaje de recuperación, con respecto a CO_{calc} fluctuó entre 49,5% y 65,9% en el sector A y de 36,5% a 65,5% en el sector B.

CUADRO 1. Unidades cartográficas, clase de manejo y taxonomía de suelos de los sitios de muestreo

TABLE 1. Map units, soil management classes and Soil Taxonomy orders of sampling sites

Sitio Nº	Unidad cartográfica	Clase de manejo	Orden de suelo
Sector mesófilo frío (A)			
1	LIN-D3/AK	II	Inceptisol
2	LIN-D2/AK	I	Inceptisol
3	MAO-D1/A	III	Mollisol
4	MAO-D1/A	I	Mollisol
5	COMPLEJO ¹	III	Mollisol
6	COMPLEJO ¹	II	Mollisol
7	MAO-D2/AK	II	Mollisol
8	MAO-D2/AK	II	Mollisol
9	MAO-D2/AK	II	Mollisol
10	MAO-D2/AK	III	Mollisol
11	MAO-D2/AK	III	Mollisol
12	ESP-D2/AK	III	Mollisol
13	ESP-D2/AK	III	Mollisol
14	SDGv-D1/A	II	Mollisol
15	LPD-E1/B	II	Entisol
Sector mesófilo cálido (B)			
16	CNA-D1/A	IV	Mollisol
17	CHE-D2/A	II	Mollisol
18	LMP-D1/A	II	Mollisol
19	LMP-D1/A	II	Mollisol
20	CNA-D1/A	II	Mollisol
21	CNA-D1/A	IV	Mollisol
22	LPD-E1/B	II	Entisol
23	LPD-E1/B	II	Entisol
24	LMP-D1/A	IV	Mollisol
25	LMP-D1/A	IV	Mollisol
26	CHE-D2/A	II	Mollisol
27	CHE-D2/A	II	Mollisol
28	QLT-E1/(A)W4	II	Inceptisol
29	QLT-E1/(B)W4	II	Inceptisol
30	QLT-E1/(A)W4	II	Inceptisol

¹COMPLEJO = STG-D3/AK + MAO-D3/AK.

CUADRO 2. Caracterización de los suelos

TABLE 2. Soils characteristics

Sitio N°	Arcilla — — — — % — — — —	Limo	Arena	Nt	Carbono orgánico			CaCO ₃ ¹
					W-B — — — — g/kg — — — —	Anne	Calc.	
Sector mesófilo frío								
1	20,4	39,9	39,7	1,22	11,3	15,1	20,1	++
2	17,3	33,3	49,4	0,92	9,6	11,6	17,7	++
3	15,6	33,2	51,2	0,99	10,5	11,2	20,1	+++
4	19,4	32,9	47,8	1,21	10,5	11,1	21,2	++
5	21,9	31,7	46,4	1,99	18,0	18,2	27,3	++
6	22,7	30,2	47,0	1,08	11,6	17,4	23,1	++
7	25,3	13,3	61,4	1,46	13,2	14,6	25,5	+++
8	23,8	39,2	37,0	1,14	12,3	16,3	24,2	+++
9	25,6	31,4	43,2	1,93	17,7	17,9	27,3	+++
10	21,4	32,8	45,8	1,43	14,1	16,2	27,0	+++
11	24,1	41,0	34,9	1,32	15,4	16,9	26,6	+++
12	27,2	29,7	43,2	2,23	19,0	22,1	30,9	++
13	20,0	33,0	47,0	1,14	13,3	14,4	22,6	+++
14	26,1	26,0	47,9	1,66	20,7	24,1	34,5	+
15	24,9	31,1	44,0	2,41	25,4	28,0	39,5	-
Sector mesófilo cálido								
16	24,0	20,1	55,9	0,96	11,3	10,6	31,0	-
17	16,8	26,9	56,3	1,30	13,2	16,4	28,4	-
18	15,6	22,0	62,4	0,93	10,9	9,6	21,3	-
19	25,4	41,3	34,2	1,44	14,9	17,1	28,7	-
20	23,3	30,2	46,5	0,59	11,5	12,5	24,5	+
21	16,8	30,2	53,0	0,88	10,1	11,3	23,0	+
22	15,2	32,6	52,2	1,06	14,4	14,8	22,0	-
23	21,3	32,2	46,5	1,42	16,5	18,5	28,4	-
24	25,4	36,7	37,9	2,65	15,2	16,2	28,5	-
25	17,6	28,2	54,2	1,55	11,2	13,2	23,2	-
26	10,7	36,7	52,6	1,22	14,0	14,8	28,8	+
27	21,7	27,7	50,6	1,66	13,4	14,8	27,5	++
28	15,6	27,7	56,7	1,26	13,2	18,3	28,3	-
29	12,3	21,0	66,7	0,68	10,5	14,6	19,3	-
30	18,4	32,2	49,3	0,86	12,5	10,5	23,2	-

¹Clases de reacción al HCl 1/3: (-) sin reacción; (+) reacción ligera; (++) reacción moderada; (+++) reacción fuerte.

Estos resultados indican que el rango de valores de CO_{Anne} es más amplio que el exhibido por CO_{W-B} en ambos sectores y se considera que el método de Walkley-Black corresponde, básicamente, a la oxidación de las formas más activas del CO (Nelson y Sommers, 1982), y que la fracción CO_{Anne} incluye formas más resistentes.

En general, se observa que los contenidos de CO tienden a incrementarse con niveles crecientes de reciclaje orgánico (sistema III en sector A y sistema IV en sector B). Además, se aprecia que los valores promedios de CO en cada sector, medidos por los métodos que implican un menor grado de oxidación (CO_{W-B} y CO_{Anne}), son levemente superiores en el sector A. Este incremento de la fracción orgánica

más lábil se asocia con un microclima más frío del medio edáfico (Campbell, 1979), variable que afecta directamente la actividad microbiana, reduciéndola, cuando se manifiesta dentro de los rangos ecológicos de temperatura que se pueden dar en cada área de estudio (Varnero y Schaefer, 1992).

Los resultados de las incubaciones isotérmicas en 18 semanas de incubación se muestran en el Cuadro 3. La principal diferencia entre ambos sectores de muestreo, radica en la existencia de sitios con un mayor nivel de mineralización acumulada en 18 semanas de incubación en el sector A. Es así que, los niveles máximos de mineralización registrados difieren en un factor 1,4 en favor del sector A y se asocian a una mayor incidencia de sitios con sistema de

manejo III, bajo condiciones térmicas generales más frías, indicando de este modo un mayor grado de conservación de los residuos y sus productos de descomposición. En cambio, el nivel mínimo de mineralización acumulada fue similar en ambos sectores, probablemente debido a una compensación de factores.

Un análisis de la cinética de mineralización a partir de los datos experimentales de ambos sectores (Cuadro 3), indica que se produce una fase rápida de mineralización, que dura hasta la 10ª semana, donde ocurren los mayores cambios en la contribución a la mineralización acumulada. Luego, se aprecia una fase más lenta que se mantiene hasta el final de la incubación, observándose velocidades en decli-

nación con cifras del orden del 15% del valor observado en la fase inicial. La etapa rápida se atribuye tanto al efecto del pre tratamiento de las muestras (desprotección de la MO), previo a la incubación (Stanford y Smith, 1972); así como también, a la presencia de fracciones orgánicas lábiles más activas (Molina *et al.*, 1980).

El método desarrollado por Stanford y Smith (1972), realiza una estimación del No con un ajuste lineal de los datos, donde el N mineralizado en las dos primeras semanas es eliminado por problemas de curvatura, considerándose principalmente un efecto del pre tratamiento de las muestras. El uso de ajuste no lineal permite incluir las sustancias más lábiles de la materia orgánica del suelo, las que se descom-

CUADRO 3. Valores experimentales de mineralización acumulada

TABLE 3. Measured acumulative mineralization

Sitio Nº	S e m a n a s									
	1	2	3	4	5	6	8	10	18	
	Mineralización acumulada (mg N/kg)									
Sector mesófilo frío										
1	11,08	22,39	33,95	45,51	50,38	56,58	71,02	84,98	110,49	
2	18,43	28,62	36,87	45,12	49,00	54,81	66,93	77,58	95,03	
3	7,30	17,53	28,25	38,97	44,81	51,62	68,17	86,66	113,43	
4	7,78	16,54	24,33	32,11	35,51	38,42	46,65	57,83	75,33	
5	7,92	21,34	34,76	48,19	55,86	64,01	80,79	105,73	150,34	
6	14,94	26,51	38,08	49,66	51,59	57,37	70,38	86,76	113,27	
7	7,78	18,00	29,68	41,36	45,25	52,06	70,98	87,02	121,07	
8	7,77	22,33	33,99	45,65	50,99	55,35	68,44	79,59	113,09	
9	12,66	30,68	47,24	63,80	72,57	79,46	94,06	111,09	146,09	
10	2,92	12,65	23,84	35,03	41,36	45,73	62,74	81,21	113,32	
11	11,16	22,33	36,41	50,50	56,81	62,63	78,16	93,68	131,55	
12	22,00	32,52	41,13	49,74	55,00	59,77	72,19	91,31	131,95	
13	2,91	10,67	20,86	31,05	35,42	39,78	54,33	72,75	104,76	
14	6,89	16,25	26,59	36,93	40,38	43,82	56,11	69,40	98,93	
15	15,88	30,32	45,24	60,16	68,34	77,00	92,87	124,87	174,43	
Sector Mesófilo Cálido										
16	8,20	15,44	24,61	31,37	38,61	42,94	53,55	66,09	97,45	
17	16,51	23,39	33,03	39,91	46,33	54,13	62,83	83,92	116,90	
18	10,16	17,90	29,99	38,21	46,43	52,23	62,37	71,06	88,46	
19	16,02	27,67	38,36	45,16	52,44	56,80	65,53	75,71	120,36	
20	8,67	15,41	24,08	32,27	39,01	43,34	52,00	68,84	101,10	
21	5,74	10,07	18,25	24,02	29,31	32,19	37,96	47,57	65,37	
22	16,99	24,54	33,04	40,59	49,08	54,74	64,64	80,68	111,35	
23	10,26	16,33	25,53	37,33	45,73	55,06	65,31	87,70	126,42	
24	5,79	14,53	24,24	32,98	39,29	43,65	50,94	69,87	93,65	
25	0,00	8,25	17,47	24,75	31,06	37,85	47,05	61,47	85,23	
26	11,62	18,40	28,57	37,29	44,07	48,90	59,53	70,04	100,05	
27	13,08	21,31	32,94	43,12	50,39	56,26	66,42	86,28	120,15	
28	8,74	18,94	31,08	40,31	49,05	53,41	61,11	67,48	107,11	
29	7,75	14,54	23,75	31,50	37,31	40,21	47,48	59,58	78,47	
30	11,61	18,87	30,97	40,17	45,98	51,78	60,00	71,12	89,99	

ponen en las primeras semanas de mineralización pero, la utilización del modelo exponencial simple (ecuación 1) no permite distinguir las fracciones lábiles de las más resistentes dentro del N mineralizado (Deans *et al.*, 1986; Hadas *et al.*, 1986; Juma *et al.*, 1984).

En el Cuadro 4 se presentan los valores de N_0 y k estimados por el modelo exponencial simple (ajuste no lineal). Se puede apreciar que los valores de N_0 son más altos para el sector A en un 19% con respecto al sector B, con promedios de 161 mg/kg y 136 mg/kg, respectivamente. A su vez, el rango de valores de la constante de mineralización (k) fue

CUADRO 4. Determinación del N_0 y k en base a un modelo exponencial simple

TABLE 4. N_0 and k values calculated on the basis of the simple exponential model

Sitio Nº	N_0 (mg/kg)	k (semana-1)
Sector mesófilo frío		
1	138,61	0,084
2	96,69	0,119
3	166,39	0,058
4	87,19	0,105
5	173,02	0,082
6	142,43	0,078
7	171,90	0,076
8	149,06	0,070
9	175,04	0,090
10	180,09	0,063
11	187,93	0,065
12	168,75	0,082
13	142,84	0,078
14	150,54	0,084
15	284,94	0,049
Sector mesófilo cálido		
16	169,28	0,043
17	133,95	0,093
18	95,39	0,110
19	139,31	0,080
20	148,85	0,055
21	75,31	0,085
22	145,42	0,073
23	235,93	0,046
24	172,36	0,045
25	120,77	0,076
26	140,10	0,071
27	113,54	0,103
28	144,91	0,059
29	97,77	0,072
30	102,71	0,100

similar para ambos sectores térmicos y fluctuó entre 0,049 a 0,119 semanas⁻¹ (sector A) y entre 0,043 a 0,110 semanas⁻¹ (sector B). La existencia de un rango de valores de k está en concordancia con el postulado que sugiere la presencia de fracciones de N_0 con diferentes resistencias a la mineralización (Juma *et al.*, 1984; Hadas *et al.*, 1986).

En el Cuadro 5 se presentan las estimaciones de los parámetros de mineralización según el modelo exponencial doble. La estimación del N_0 mediante este modelo permite separar las formas más lábiles de las fracciones resistentes o estabilizadas, con sus respectivas constantes de mineralización (h y k).

CUADRO 5. Determinación de N_0 lábil (N_{0l}); N_0 estabilizado (N_{0r}) y sus respectivas tasas de mineralización, h y k , en base a un modelo exponencial doble

TABLE 5. Labil N_0 (N_{0l}), estabilized N_0 (N_{0r}) and its correspondants mineralization rates, h and k , calculated on the basis of the double exponential model

Sitio Nº	N_{0l} (mg/kg)	N_{0r}	h (semana-1)	k
Sector mesófilo frío				
1	16,92	173,25	0,392	0,042
2	50,99	72,17	0,025	0,146
3	10,51	156,40	0,061	0,053
4	24,88	224,00	0,343	0,014
5	58,17	149,58	0,131	0,044
6	4,42	153,62	2,728	0,062
7	36,52	180,88	0,165	0,041
8	18,88	258,80	0,366	0,023
9	41,45	199,53	0,232	0,039
10	33,85	177,73	0,120	0,041
11	13,42	255,08	0,490	0,034
12	21,00	425,81	1,373	0,017
13	30,67	169,80	0,191	0,035
14	45,29	151,64	0,164	0,038
15	12,55	470,32	0,953	0,022
Sector mesófilo cálido				
16	6,00	294,33	0,991	0,019
17	35,67	236,63	0,271	0,021
18	43,87	128,18	0,199	0,021
19	18,24	396,46	1,074	0,014
20	5,27	190,03	0,933	0,035
21	19,23	135,87	0,230	0,020
22	12,67	262,86	2,175	0,025
23	3,84	271,13	0,797	0,036
24	6,50	243,73	0,468	0,025
25	19,24	173,16	0,277	0,029
26	14,81	213,10	0,434	0,029
27	27,59	145,98	0,309	0,036
28	12,65	221,62	0,350	0,026
29	9,33	132,13	0,429	0,036
30	11,73	118,65	0,628	0,056

El valor promedio del No lábil (NoI) fue mayor en el sector A (27,97 mg/kg) que en el sector B (16,44 mg/kg). En cambio, los valores de No resistente (Nor) fueron similares en ambos sectores (A: 214,6 mg/kg; B: 210,9 mg/kg), independientemente de las diferencias térmicas y de manejo, un aspecto observado en otras zonas edafoclimáticas (Rodríguez y Silva, 1984). En general, las diferencias en NoI son atribuidas al sistema de manejo por Rodríguez y Silva (1984). El NoI aumentaría en cada universo muestral en proporción a la cantidad de residuos vegetales incorporados al suelo (sistemas de manejo). En cambio, la fracción Nor dependería en mayor grado del nivel de protección de la MO (una función textural relacionada al proceso de adsorción de sustancias orgánicas por arcillas) y en menor grado de las tasas de descomposición-humificación de los residuos o formación de un "pool" estable de MO, prevaletentes en cada universo térmicamente diferenciado, cuyos efectos acumulativos tenderían a igualarse en el tiempo.

Los valores de No calculados en base al modelo exponencial simple son menores que los obtenidos por el modelo exponencial doble, lo cual, según Deans *et al.*, (1986), es un resultado atribuible al modelo utilizado y no a errores de estimación. En general, el modelo exponencial doble presenta un mejor ajuste a los datos de mineralización y da soporte a la idea de la existencia de dos "pools" de NO que contribuyen a la mineralización (Deans *et al.*, 1986).

En el sector A, las regresiones (Figuras 2A, 2B y 2C) determinadas entre el No (modelo exponencial simple) y los valores de CO_{calc} , CO_{Anne} y CO_{w-B} presentan un ajuste aceptable ($0,72 < r < 0,77$), con un nivel de significancia al 0,01. En cambio, en el sector B las regresiones (Figuras 2D y 2F) son significativas a un nivel de 0,01 con CO_{w-B} ($r = 0,76$) y CO_{calc} ($r = 0,65$) y a un nivel de 0,05 en el caso de CO_{Anne} ($r = 0,58$; Figura 2E).

Mediante el modelo exponencial doble, las relaciones No-CO presentan un ajuste similar al observado con

el modelo exponencial simple sólo en el sector A (Figuras 3A, 3B y 3C). En el sector B se observa una correlación muy significativa sólo con el CO_{calc} ($r = 0,64$; Figura 3F). Con las otras fracciones, la correlación es significativa al 0,05 en el caso de CO_{w-B} y no significativa con CO_{Anne} (Figuras 3D y 3E, respectivamente).

Las mejores correlaciones obtenidas en el sector A, se podrían explicar por el mayor grado de homogeneidad de las características físico-químicas que presentan los suelos (Cuadro 2). Al respecto, Stanford y Smith (1972), señalan que no encontraron ninguna relación entre el No y los niveles de CO con suelos de características físico-químicas, hidrotérmicas y de manejo muy diversas.

El fraccionamiento del CO utilizado en este trabajo aun cuando incluyó fracciones consideradas activas, no proporcionó una fracción índice con un nivel de sensibilidad suficiente para definir en alto grado la relación No-CO, considerándose que fracciones de CO obtenidas a niveles menores de oxidación serían adecuadas para este propósito. A este respecto, es interesante considerar los resultados obtenidos por Jenkinson (1968), con la fracción "glucosa" (polisacáridos supuestamente de origen biomásico) extraída mediante $Ba(OH)_2$ 0,01 N, la cual ha correlacionado relativamente bien con N mineralizado. Sin embargo, su determinación mediante el reactivo de antrona, no ofrece ventajas desde un punto de vista de la rutina de servicio.

CONCLUSIONES

Los niveles de CO están influenciados por la intensidad del aporte de residuos orgánicos, asociado a los sistemas de manejo estudiados, esto se traduce en niveles crecientes de No. La relación No versus CO es promisoría, en tanto, los datos provengan de un universo muestral homogéneo en factores térmicos, texturales y de drenaje, que inciden en la dinámica de descomposición-protección de los residuos y se disponga de un método rutinizable de fraccionamiento de CO que utilice bajos niveles oxidativos.

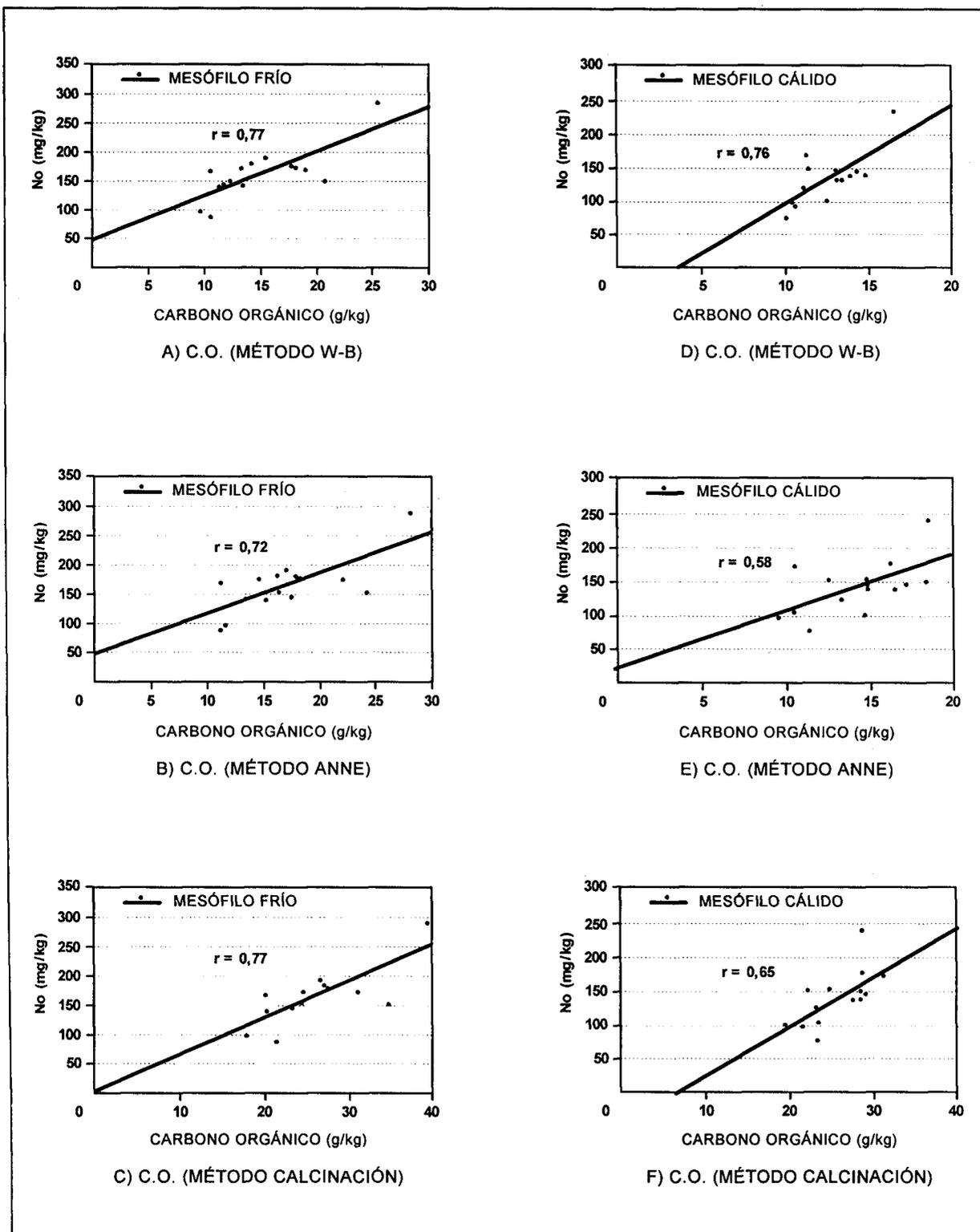


FIGURA 2. Relación entre el No estimado por el modelo exponencial simple y el C.O. medido por los métodos de Walkley y Black, Anne y Calcinación. (Sector mesófilo frío: A, B, C). (Sector mesófilo cálido: D, E, F).

FIGURE 2. Relationship between estimated No by simple exponential model and C.O. content determined by Walkley and Black, Anne and Calcination methods. (Cold mesophyle regions: A, B, C). (Warm mesophyle regions: D, E, F).

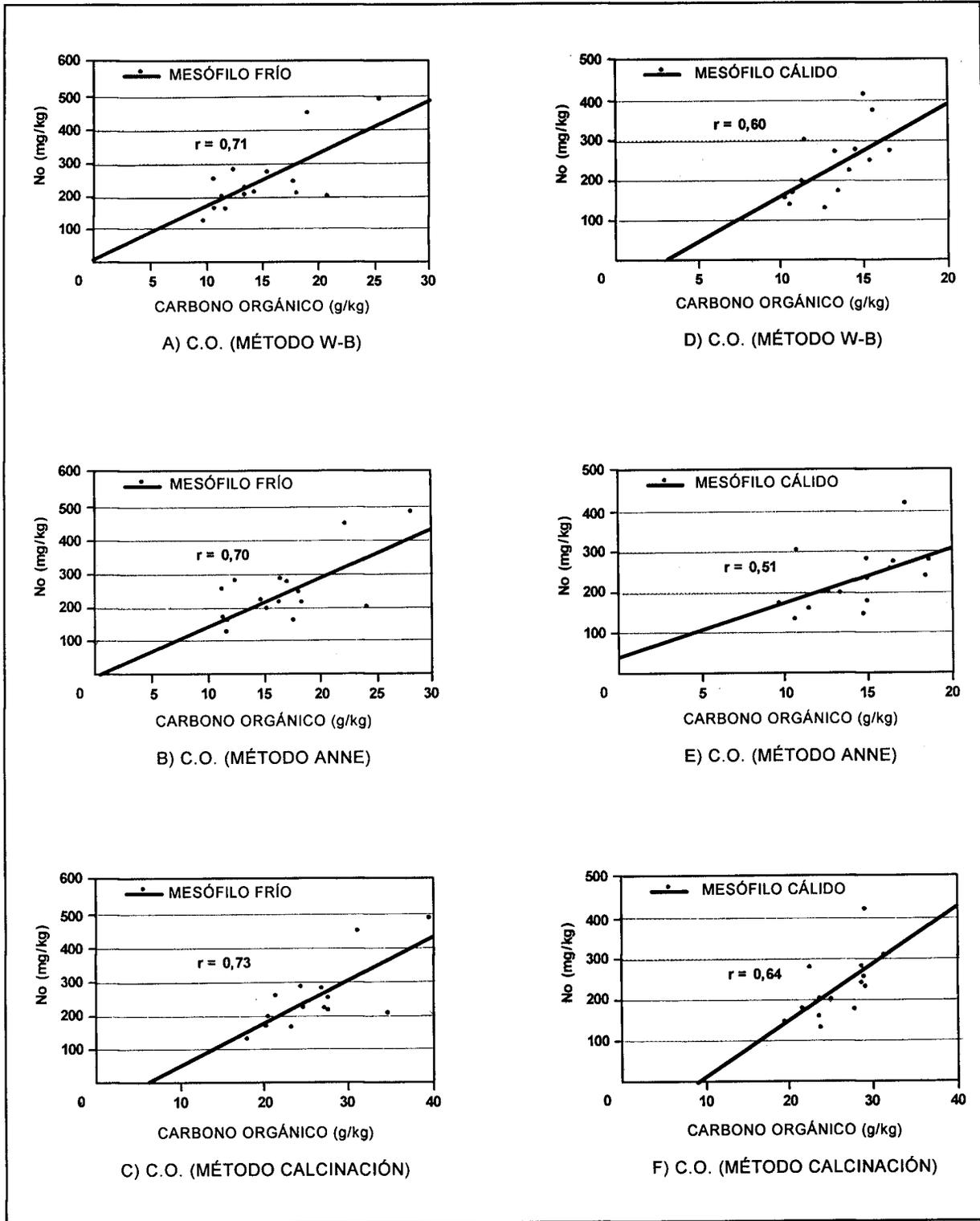


FIGURA 3. Relación entre el No estimado por el modelo exponencial doble y el C.O. medido por los métodos de Walkley y Black, Anne y Calcificación. (Sector mesófilo frío: A, B, C). (Sector Mesófilo Cálido: D, E, F).

FIGURE 3. Relationship between estimated No by double exponential model and C.O. content determined by Walkley and Black, Anne and Calcification methods. (Cold mesophyle regions: A, B, C). (Warm mesophyle regions: D, E, F).

RESUMEN

Se estudió el efecto del sistema de manejo de residuos y del régimen térmico superficial del suelo, en el proceso de mineralización del N (*in vitro*) y en los contenidos de carbono orgánico (CO), en 15 suelos con el 60% de días del año con temperaturas promedios inferiores a 15 °C (Mesófilo Frío) y en 15 suelos con el 60% de días del año con temperaturas promedios superiores a 20 °C (Mesófilo Cálido).

En la medición de CO se usaron 3 metodologías: Walkley y Black, Anne y calcinación. Para No se usó Stanford y Smith (1972), incubándose los suelos a 35 °C, durante 18 semanas. La estimación del No se

efectuó mediante dos modelos cinéticos (exponencial simple y exponencial doble). Los diferentes sistemas de manejo incidieron en una variación de los niveles de CO, lo que se traduce en niveles crecientes de No. La relación No versus CO es promisoría en la medida que los datos provengan de un universo muestral homogéneo en factores térmicos, texturales y de drenaje.

Palabras claves: carbono orgánico, nitrógeno potencialmente mineralizable, materia orgánica del suelo, temperatura superficial del suelo.

LITERATURA CITADA

- ANNE, P. 1945. Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. Ann. Agron. 15: 161-172.
- BLACK, C.A. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA. v 2, 1572 p.
- BURKE, I. 1989. Control of nitrogen mineralization in a sagebrush steppe landscape. Ecology 70(4): 1115-1126.
- CAMPBELL, C.A. 1979. Soil organic carbon, nitrogen and fertility, p. 173-265. In: Schnitzer, M. and Khan, S.V. Soil Organic Matter. Elsevier Scientific, Amsterdam, The Netherlands, 319 p.
- CHILE-INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 1975. Investigación Agropecuaria, 446 p.
- CHILE-COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 1981. Estudio de Suelos de la Hoya del Río Maipo. Agrología. Agrolog-Chile. 4 volúmenes y mapas.
- DEANS, J.R.; MOLINA, J.A.E. and CLAPP, C.E. 1986. Models for predicting potentially mineralizable nitrogen and decomposition rate constants. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 323-326.
- HADAS, A.S.; FEIGENBAUM, S.; FEGIN, A. and PORTNOY, R. 1986. Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 314-319.
- HONEYCUTT, C.W.; ZIBILSKE, L.M. and CLAPHAM, W.M. 1988. Heats units for describing carbon mineralization and predicting net nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1346-1350.
- JACKSON, M. 1970. Análisis químico de suelos. Omega, Barcelona, España, 662 p.
- JENKINSON, D.S. 1968. Chemical test for potentially available nitrogen in soil. J. Sci. Fd Agric., 19: 160-168.
- JUMA, M.G.; PAUL, E.A. and MARY, B. 1984. Kinetic analysis of net nitrogen mineralization in soil. Soil. Sci. Soc. Am. J. 48: 753-757.
- KEENEY, D. 1982. Nitrogen-availability indices. p. 711-730. In: Page, A.L. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA, 1.159 p.
- MOLINA, J.A.; CLAPP, C.E. and LARSON, W.E. 1980. Potentially mineralizable nitrogen in soil: the simple exponential model does not apply for the first 12 weeks of incubation. Soil Sci Soc. Am. J. 44: 442-443.
- NELSON, D.W. and SOMMERS, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter, p. 539-577. In: Page, A.L. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1159 p.
- RODRÍGUEZ, J. y SILVA, H. 1984. Nitrógeno potencialmente mineralizable en Andisoles. Ciencia e Investigación Agraria 11: 81-88.
- ROJAS, C. 1992. Estimación del N-disponible y N-orgánico en suelos chilenos. Agricultura Técnica 52(4): 398-402.
- SANTIBÁÑEZ, F.; VARNERO, M.T.; BENAVIDES, C. y CASANOVA, M. 1992. Determinación de regímenes térmicos en el horizonte superficial. In: 43 Congreso Agronómico Anual. 2-5 nov. 1992, Santiago.
- SIERRA, C. y RODRÍGUEZ, J. 1986. Efecto del manejo del suelo en el suministro de N. Ciencia e Investigación Agraria 13: 229-237.
- STANFORD, G. and DEMAR, W.H. 1969. Extraction of soil organic nitrogen by autoclaving in water. I. The NaOH-distillable fraction as an index of soil nitrogen availability. Soil Sci. 107: 203-205.
- STANFORD, G. and SMITH, S. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 465-472.

- STANFORD, G. and SMITH, S.J. 1976. Estimating potentially mineralizable soil nitrogen from a chemical index of soil availability. *Soil Sci.* 122: 71-76.
- STANFORD, G. and SMITH, S.J. 1978. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. *Soil Sci.* 126: 210-218.
- STANFORD, G. 1982. Assessment of soil nitrogen availability. In: F.J. Stevenson (ed.). *Nitrogen in Agricultural soils*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. Monograph 22: 651-688.
- VARNERO, M.T. y SCHAEFER, R. 1992. Amonificación y nitrificación en relación con la temperatura y la humedad del suelo. *Investigación Agrícola* 12 (1-2): 19-26.
- VARNERO, M.T., BENAVIDES, C. y CASANOVA, M. 1992. Desarrollo de metodologías y modelización para la evaluación de la capacidad de suministro de Nitrógeno de suelos y de residuos orgánicos: I. Evaluación de un índice químico del No en los suelos. Informe final Proyecto FONDECYT 90-0939. 51 p.
- VERBERNE, E.L.; HASSINK, J.; DE WILLIGEN, P.; GROOT, J. and VAN VEEN, J. 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38: 221-238.