

Factores que afectan la mineralización del nitrógeno en suelos trumaos y no trumaos¹

Hernán Tejeda S.²

INTRODUCCION

En suelos no fertilizados el nitrógeno disponible para las plantas está constituido por las formas inorgánicas NO_3 , NO_2 y NH_4 que resultan de la descomposición de la materia or-

gánica en el proceso conocido bajo el nombre genérico de mineralización del nitrógeno (8). Este proceso es de fundamental importancia para la agricultura por cuanto no sólo permite utilizar el N de la materia orgánica del suelo sino también recuperar y hacer nuevamente utilizable por las plantas el N retirado por cosechas y que en la forma de proteínas va siendo asimilado y desasimilado en los eslabones de la cadena alimentaria. Compuestos orgánicos nitrogenados procedentes de otras fuentes, tales como residuos de cosechas y praderas de leguminosa incorporadas al suelo, también necesitan ser mineralizadas para que su

1) Publicación autorizada por la Estación Experimental Quilamapu. El autor desea agradecer la colaboración del Agrónomo MS, Gerald L. Gogan, Voluntario del Cuerpo de Paz (USA), en la realización de los análisis de suelo en el presente trabajo.
Recepción manuscrito: 4 de agosto de 1969.

2) Ing Agr MS, Estación Experimental Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 426, Chillán, Chile.

nitrógeno se torne disponible para las plantas (16).

La mineralización de N consiste en la oxidación gradual del N, desde las formas NH_2 en compuestos orgánicos hasta el NO_3 en la solución del suelo, producida por la actividad de microorganismos. Se realiza en 3 etapas principales: a) la oxidación del NH_2 a NH_4 ; b) la oxidación de NH_4 a NO_2 y c) la oxidación de NO_2 a NO_3 (16). Según Black (3), la velocidad del proceso está determinada por la transformación del N orgánico a NH_4 por cuanto la transformación de NH_4 a NO_2 y NO_3 es más rápida, a no ser que existan factores limitantes.

Varios autores (3), (8), (9) han revisado la literatura referente a los factores que condicionan la mineralización de N. El contenido de N-total del suelo constituye el sustrato susceptible de ser descompuesto. La composición del sustrato, principalmente en términos de la relación C/N, determina la energía disponible para el desarrollo de los microorganismos responsables de la transformación de N orgánico a NH_4 y cantidad de N para su nutrición. El grado de acidez del suelo afecta principalmente la transformación del NH_4 a NO_3 , sin dejar de desconocerse un efecto sobre la producción del NH_4 . Tanto el secado como la congelación del suelo parecen aumentar la superficie de la materia orgánica expuesta a la actividad microbiológica. Las temperaturas bajas, cercanas a 0°C disminuyen la velocidad del proceso, debido a la restricción impuesta sobre la actividad microbiana; igual cosa ocurre a temperaturas mayores de 60°C . Finalmente la aireación y contenido de humedad del suelo afectan principalmente la transformación de NH_4 a NO_3 , en cuanto regulan la disponibilidad de oxígeno. Hwang y Frank, citados por Harmsen y Van Schreven (8) indican que la transformación de NH_4 a NO_3 depende más de los niveles óptimos de los factores condicionantes que de la producción de NH_4 , pudiendo ocurrir esta última en condiciones extremas.

En estudios de comparación de métodos para determinar disponibilidad de N realizados por Tejeda y Gogan (14) en suelos de la provincia de Nuble se ha encontrado que los suelos derivados de cenizas volcánicas requieren un porcentaje varias veces mayor de N-total para producir la misma cantidad de N-disponible, representado por la absorción de una planta indicadora, que los suelos derivados de material granítico o fluvio-glacial. También se encontró que la producción de N — ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) en el laboratorio, de acuerdo a la técnica de incubación propuesta por Keeney y Bremner (12) representa una buena estimación de la disponibilidad de N. El objetivo del presente trabajo ha sido establecer si la producción de N — ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) en el laboratorio, como medida de disponibilidad de N, está asociada a ciertas caracte-

rísticas en cada grupo de suelos. Específicamente se consideró el porcentaje de N-total, la relación C/N, el contenido de fósforo disponible, de aluminio extractable y el pH.

MATERIAL Y METODO

Suelos

Las muestras de suelo utilizadas en el presente trabajo corresponden a las tomadas por Tejeda y Gogan (14) y han sido descritas por estos autores. Incluyen 19 muestras de suelos trumaos y 18 de suelos no trumaos, tomadas en áreas de riego y secano en ambos tipos de suelos. Se muestreó a 0-15 cm de profundidad, secando posteriormente al aire y tamizando a 2 mm, guardándose en bolsas de polietileno cerradas hasta el momento de efectuar los análisis.

Métodos de análisis de suelo

La mineralización de N se estimó a través de la producción de N — ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) durante 14 días de incubación a 30°C de acuerdo a la técnica de Keeney y Bremner (12). El N-total se determinó por el método de Kjeldahl y el carbono por el método de Springer y Klee, ambos en la forma descrita por Thun (17). El fósforo disponible se determinó por el método de Olsen (13) y el aluminio por método de Joan y Fiskel, descrito por Baherle (1). Para la determinación del pH se usó la relación suelo: agua igual a 1 : 2,5.

Métodos de análisis estadísticos

Para medir el grado de asociación entre la mineralización de N y las características de suelo se utilizaron dos criterios en forma sucesiva. En primer lugar se calculó la matriz de coeficientes de correlación simples entre todas las variables (6), lo que permite individualizar las variables que presentan correlación significativa con la mineralización como también la correlación de las variables independientes entre sí. La correlación entre variables independientes, denominada multicolinealidad (11), es un aspecto que se debe considerar en el análisis por cuanto la correlación de una variable cualquiera con el fenómeno estudiado puede deberse solamente a su correlación con otra variable que está intrínsecamente asociada al mismo. Para eliminar los casos de multicolinealidad, se construyó una regresión múltiple lineal de la forma:

$$X_1 = b_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \text{ ———— } + b_kX_k \quad (1)$$

en el cual X_1 es la mineralización y las X_i ($i = 2,3, \text{ ———— }, k$) constituyen aquellas variables que correlacionaron significativamente, por lo menos al 0,05, con mineralización.

Luego se utilizó la técnica de eliminar alternativamente cada variable y observar la significación de la disminución de la suma de cuadrados de regresión, en la forma propuesta por Draper y Smith (6), reteniéndose aquellas variables cuya eliminación reduce significativamente la suma de cuadrados mencionada. De esta manera se pretendió aislar las características del suelo que presentan asociación directa con mineralización, eliminando las que lo hacen por multicolinealidad.

RESULTADO Y DISCUSION

Caracterización de las muestras de suelo

En el Cuadro 1 se indican los promedios y rangos de las características consideradas en el estudio para los suelos trumaos y no trumaos.

Se puede observar que los suelos trumaos presentan valores promedios varias veces mayores que los suelos no trumaos en N-minerali-

Cuadro 1 — Valores promedio y rango de las características de los suelos trumaos y no trumaos que se incluyeron en el estudio.

Características	Variable	Suelos No Trumaos (n = 18)	Suelos Trumaos (n = 19)
N—mineralizado	X1	13,6 ^a	40,4
		0,0-47,2 ^b	7,6-74,0
N—total	X2	0,10	0,57
		0,02-0,24	0,46-0,70
Relación C/N	X3	10,6	9,5
		5,7-12,2	7,7-11,3
P—disponible	X4	5,9	7,6
		2,0-19,2	4,8-10,8
Al—extractable	X5	43	406
		20-80	271-728
pH	X6	6,00	6,2
		5,3-6,4	5,8-6,4

a : promedio
b : rango

zado, N-total y Al-extractable, mientras que la relación C/N, el P-disponible y el pH no presentan diferencias importantes.

Mineralización de nitrógeno en suelos trumaos

El Cuadro 2 presenta la matriz de coeficientes de correlación simple entre mineralización de N (X₁) y el resto de las variables en estudio para los suelos trumaos. Se utilizó el logaritmo del valor de Al-extractable ya que, por

inspección gráfica, se observó que presenta relaciones lineales.

La mineralización presenta correlación positiva, significativa al nivel de 0,01, con N-total y P-disponible y correlación negativa, también significativa al nivel de 0,01, con la relación C/N y el logaritmo del Al-extractable. Sin embargo, tanto la relación C/N como el P-disponible presentan correlaciones significativas al nivel de 0,05 con N-total y log (Al-extractable). En base a este último resultado, se formuló la

Cuadro 2 — Matriz de coeficientes de correlación simple entre mineralización de N y el resto de las variables en estudio para los suelos trumaos (n = 19).

		N—total X2	C/N X3	P—disponible X4	log (Al) X5	pH X6
N—mineralizado	X1	0,643**	-0,578**	0,590**	-0,711**	-0,236
N-total	X2		-0,466*	0,484*	-0,317	-0,236
Relación C/N	X3			0,205	0,469*	0,339
P—disponible	X4				0,541*	-0,109
log (Al-extractable)	X5					0,030

* : Significativo al nivel de 0,05
** : Significativo al nivel de 0,01

hipótesis que la correlación de la relación C/N y P-disponible con mineralización de N se debía solamente a que ambas variables serían multicolineales con N-total y logaritmo de Al-extractable. Los signos de los coeficientes r calculados concuerdan con la hipótesis.

Tratando de dilucidar el problema planteado, se calculó la regresión lineal múltiple, tomando mineralización (X_1) como variable dependiente y N-total (X_2), relación C/N (X_3), P-disponible (X_4) y log (Al-extractable) (X_5) co-

mo variables independientes. No se incluyó la variable pH por presentar correlaciones simples no significativas, ni al nivel de 0,1. La suma de cuadrados de la regresión completa $X_1 = R$ (X_2, X_3, X_4, X_5) resultó significativa al nivel de 0,01 ($F = 9,45^{**}$, $n_1 = 4$, $n_2 = 14$). Luego se calcularon cuatro regresiones reducidas en tres variables independientes cada una, eliminando una variable cada vez, y se probó la significación de la reducción de la suma de cuadrados. El resultado obtenido se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3 — Análisis de variancia para la reducción de la suma de cuadrados de la regresión completa al eliminar una variable independiente cada vez.

VARIABLE ELIMINADA		G L	Cuadrado Medio para Reducción	F
log (Al-extractable)	(X5)	1	890,685	5,638*
P-disponible	(X4)	1	105,386	0,667
Relación C/N	(X3)	1	201,179	1,273
N-total	(X2)	1	624,035	3,950**
S.C. Residual		14	157,975	

* : Significativo al nivel de 0,05

** : Significativo al nivel de 0,1

La eliminación de las variables P-disponible y relación C/N no disminuyó significativamente la suma de cuadrados para regresión, de donde se deduce que sus variaciones no afectan la mineralización de N. La aparente asociación con mineralización de N sugerida por la significación de los respectivos coeficientes de correlación simple (Cuadro 2) puede atribuirse al efecto común del N-total y log (Al-extractable) sobre mineralización de N y también sobre las variables eliminadas.

Finalmente se calculó la regresión $X_1 = R$ (X_2, X_5), considerando solamente N-total y log (Al-extractable) como variables independientes, y se probó la significación de la reducción de la suma de cuadrados al eliminar una variable cada vez. El Cuadro 4 muestra los resultados obtenidos.

Se puede apreciar que la exclusión de cualquiera de las dos variables independientes re-

duce significativamente, al nivel de 0,01, la suma de cuadrados de la regresión $X_1 = R$ (X_2, X_5), lo que significa que tanto el N-total como el Al-extractable contribuyen independientemente y significativamente a explicar la variación de la mineralización de N en los suelos trumaos. Las figuras 1 y 2 muestran el efecto separado de cada variable en los suelos trumaos. Mientras la mineralización aumenta con el contenido de N-total, disminuye al aumentar el contenido de Al-extractable.

El efecto depresivo de Al sobre la mineralización de N ha sido mencionado por Cornfield, citado por Harmsen y Van Schreven (8). Sin embargo, el autor aclara que el mayor efecto se observó sobre la oxidación del NH_4 a NO_3 , produciéndose una acumulación de NH_4 . Brar y Giddens (4) encontraron que suelos con alto contenido de Al-extractable (100 ppm o

Cuadro 4 — Análisis de variancia de la regresión de mineralización de N (X_1) versus N-total (X_2) y log (Al-extractable) (X_5), y de la eliminación de las variables independientes.

ORIGEN	G L	C M	F
Total	18		
Regresión — (X_2, X_5)	2	2.861,648	18,613**
Eliminación — (X_5)	1	2.336,358	15,197**
Eliminación — (X_2)	1	1.539,976	10,368**
Residual	16	153,741	

** : Significativo al nivel de 0,01.

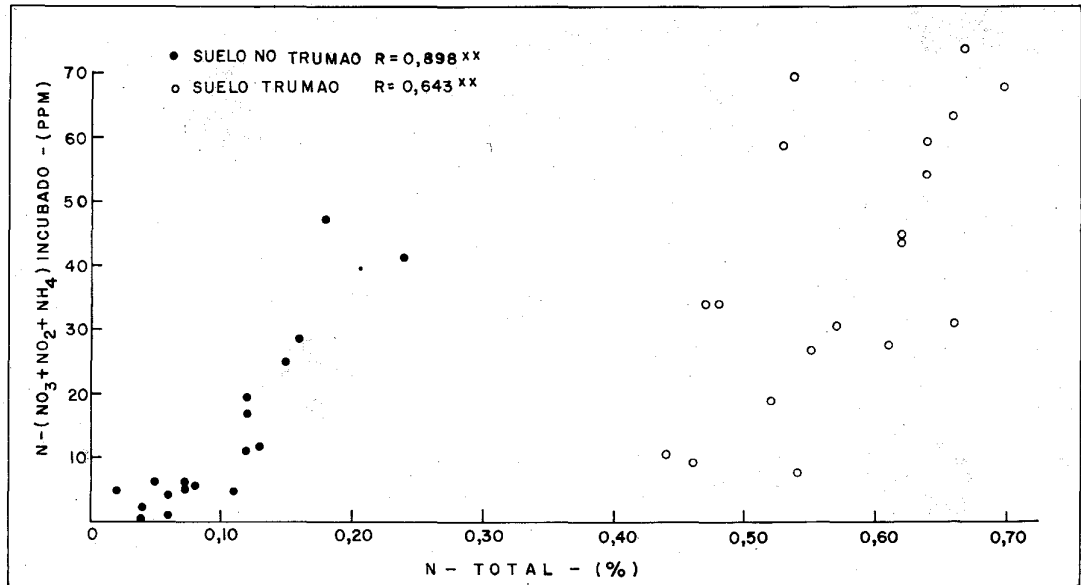


Figura 1- Relación entre porcentaje de nitrógeno total y mineralización de nitrógeno.

más) presentaban una baja población de los organismos responsables de la nitrificación, con la consecuente baja velocidad de este proceso. En los dos casos citados, los autores indican que la aplicación de Ca, con la consiguiente elevación del pH y disminución del Al-extractable, aumentaban la velocidad de nitrificación.

Sin desconocer un probable efecto de Al-extractable sobre oxidación del NH_4 a NO_3 , los resultados del presente trabajo sugieren más bien un efecto sobre la primera etapa de la mineralización, es decir, sobre la formación de

$\text{N} - \text{NH}_4$, toda vez que la mineralización se estimó mediante la determinación de la suma ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) de las formas inorgánicas de N producidas durante la incubación. Esta conclusión concuerda con los resultados obtenidos por Jackman (10) en Nueva Zelanda, en el sentido que suelos con alto contenido de alofán y aluminio presentan velocidades bajas de mineralización de N y tienden a acumular materia orgánica en forma estable. Broadbent et al. (5) trabajando bajo condiciones de laboratorio han confirmado los resultados de

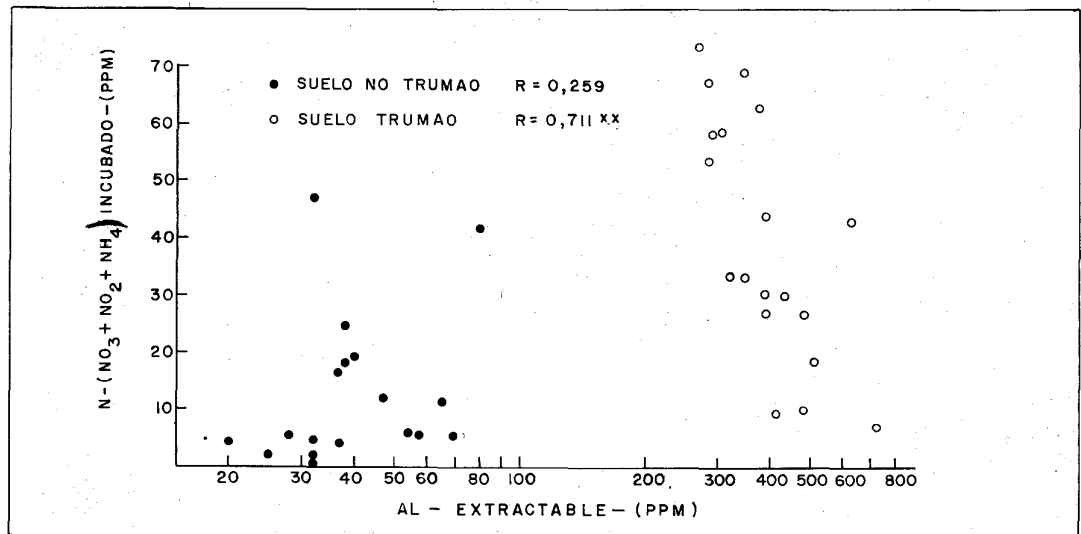


Figura 2- Relación entre contenido de aluminio extractable y mineralización de nitrógeno.

Jackman (10), aunque ninguno de los autores mencionados ha encontrado una explicación definitiva a la estabilidad de la materia orgánica en suelos alofánicos. Broadbent et al (5) sugieren la formación de complejos estables entre el alofán y la materia orgánica, en los cuales se reduciría la superficie de reacción que ésta presenta a la acción enzimática de los microorganismos de la descomposición. Estos compuestos se formarían por unión del aluminio con grupos reactivos formados a medida que progresan las primeras etapas de descomposición del material orgánico fresco.

La presencia de alofán en los suelos trumaos chilenos ha sido demostrada por diferentes autores (2), (7). Los resultados del presente trabajo concordarían con la hipótesis mencionada siempre que el contenido de Al-extractable fuera un indicador del grado de estabilización de la materia orgánica por la formación de compuestos con el alofán.

Mineralización del N en suelos no trumaos

El Cuadro 5 presenta la matriz de coeficientes de correlación simple entre mineralización de N (X_1) y el resto de las variables en estudio para los suelos no trumaos.

La mineralización de N presenta correlación positiva, significativa al nivel de 0,01, solamente con el contenido de N-total del suelo. Los demás factores no correlacionan significativamente, a excepción del P-disponible, cuyo coeficiente $r = 0,450$ está próximo al nivel de 0,05 de significación. Estos resultados sugieren que el principal factor limitante para la mineralización en los suelos no trumaos lo constituye la disponibilidad de nitrógeno orgánico, lo que parece aceptable si se considera los bajos valores anotados en el Cuadro 1.

La correlación positiva presentada con P-disponible, aunque de baja significación, también aparece probable por cuanto este elemento puede constituir limitante a la actividad microbiológica dado los bajos niveles que presenta en estos suelos (15).

Cuadro 5 — Matriz de coeficientes de correlación simple entre mineralización de N y el resto de las variables en estudio para los suelos no trumaos ($n = 18$).

		N-total X_2	C/N X_3	P-disponible X_4	log(Al) X_5	pH X_6
N—mineralizado	X_1	0,898**	-0,298	0,450	0,259	-0,374
N—total	X_2		-0,410	0,458	0,465	-0,469*
Relación C/N	X_3			-0,011	-0,402	0,341
P—disponible	X_4				0,229	-0,020
log (Al-extractable)	X_5					-0,579*

* : Significativo al nivel de 0,05.

** : Significativo al nivel de 0,01.

RESUMEN

Se estudió la asociación entre la velocidad de mineralización de N y algunas características químicas de suelos trumaos y no trumaos. Los suelos trumaos se derivan de cenizas volcánicas recientes; entre los no trumaos se consideraron suelos derivados de cenizas volcánicas antiguas, material granítico y fluvio-glacial.

La velocidad de mineralización se midió determinando la cantidad de N—($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) producido durante catorce días de incubación a 30°C . Para cada grupo de suelo, se estudió separadamente la asociación que presenta con las características N-total, relación C/N, P-disponible, log (Al-extractable) y pH, utilizando el coeficiente de correlación simple y regresión lineal múltiple. El análisis de regresión se usó para esclarecer los casos de multicolinealidad entre variables, es decir, cuando dos o más variables asociadas a la mineralización están correlacionados entre sí.

En los suelos trumaos, con contenidos muy altos de N-total y Al-extractable, solamente el pH no correlacionó significativamente con mineralización de N. La relación C/N y el P-disponible, además de correlacionar significativamente, presentaron correlaciones significativas al 0,05 con N-total y log (Al-extractable), que son las otras dos variables que correlacionaron al nivel de 0,01 con mineralización. Sin embargo, luego de calcular la regresión lineal múltiple de la mineralización sobre las cuatro variables mencionadas, la eliminación de la relación C/N y P-disponible no disminuyó significativamente la suma de cuadrados de la regresión, demostrando que la aparente asociación de estas características con la variable dependiente se debía a la multicolinealidad con N-total y log (Al-extractable), siendo estas dos últimas las únicas varia-

bles que presentan asociación directa con la mineralización. El efecto negativo del Al-extractable sobre la mineralización del N se debería a la formación de compuestos estables entre la materia orgánica y el aluminio altamente reactivo del alofán de los suelos trumaos.

En los suelos no trumaos, con contenidos bajos de Al-extractable y medios a bajos en N-total, solamente este último correlacionó significativamente al nivel de 0,01 con mineralización, constituyendo probablemente el primer factor limitante por su escasez.

SUMMARY

The association between nitrogen mineralization rate and selected chemical characteristics of trumao and no-trumao soils were studied. Trumao soils are derived from recent volcanic ash. Under the name of no-trumaos were grouped soils derived from ancient volcanic ash, granitic rocks and glacial-alluvial deposits.

Mineralization rate was estimated by determining the amount of N — ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) produced during incubation of soil samples at 30° C for 14 days. The association between N mineralization and total-N, C/N ratio, available P, log (extractable-Al) and pH was studied using simple correlation and regression analysis. Each soil group was studied separately. Regression analysis was used to elucidate multicollinearity problems, say, when two or more variables associated with mineralization were correlated one with another.

Only pH was not significantly correlated with N mineralization in the trumao soils, which are very high in total-N and extractable-Al. Besides their significant correlation at 0.1 level with N mineralization, the C/N ratio and available-P showed significant r values at 0.05 level with total-N and log (extractable-Al). The last 2 variables correlate at the 0.1 level of significance with mineralization. Results of the regression analysis showed that elimination of the C/N ratio and available-P from a model including the four variables that showed significant correlation with mineralization did not reduce significantly the regression sum of square. This result showed that the correlation between C/N ratio and available-P with mineralization was due to multicollinearity with total-N and extractable-Al, and that only the last two variables showed a direct association with mineralization. The negative effect of extractable-Al upon mineralization rate may be due to formation of stable complex between organic matter and the highly reactive aluminum from the alofan in trumao soils.

Only total-N showed significant correlation coefficient at the 0.1 level with N mineralization in the no-trumao soils, which are medium to low in total-N and low in extractable-Al. It may be that, due to low levels, total-N is the main limiting factor.

LITERATURA CITADA

- BAHERLE V., PEDRO. Influencia de la fertilización fosfatada sobre aluminio y fierro extractable. Tesis Ing. Agr. Chillán, Chile, Universidad de Concepción, 1965. 89 p. (Mimeografiada).
- BESOAIN M., EDUARDO. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 18 (2): 110-165. 1958.
- BLACK, C. A. Soil-plant relationships. 2nd. ed. New York, John Wiley and Sons, Inc. 1968. 420 p.
- BRAR, S. S. and GIDDEN, J. Inhibition of nitrification in Bladen grassland soil. Soil Sci. Soc. of Am. Proc. 32:821-823. 1968.
- BROADBENT, F. E., JACKMAN, R. H. and Mc NICOLL, J. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil science 98:118-128. 1964.
- DRAPER, N. R. and SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley and Sons, Inc. 1966. pp. 149-167.
- ESPINOZA G., WALDO. Caracterización química de dos suelos volcánicos de la provincia de Ñuble: Arrayán y Santa Bárbara (II). Determinación de alofán en suelos volcánicos de Ñuble mediante disolución diferencial. Agricultura Técnica (Chile) 29 (1): 40-43. 1969.
- HARMSSEN, G. W. and VAN SCHREVEN, D. A. Mineralization of organic nitrogen in soils. In Norman, A. G., ed. Advances in agronomy. New York, Academic Press, Inc. 7:299-398. 1955.
- and KOLENBRANDER, G. J. Soil inorganic nitrogen. In Bartholomew, W. V. and F. E. Clark, eds. Soil nitrogen. Madison, Wisconsin, Am. Soc. of Agronomy, Publisher. 1965. pp. 43-92.

10. JACKMAN, R. H. Accumulation of organic matter in some New Zealand soils under permanent pasture (II). Rates of mineralization of organic matter and the supply of available nutrients. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 7 (4): 472-479. 1964.
11. JOHNSTON, J. *Econometric methods*. New York, McGRAW-HILL. 1963. 201 p.
12. KEENEY, D. R. and BREMNER, J. M. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining and index of soil nitrogen availability. *Agronomy Journal* 58:498-503. 1966.
13. OLSEN, S. R. Phosphorus. In Black, C. A., ed. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Madison, Wisconsin, Am. Soc. of Agronomy, Publisher. 1965. pp. 1035-1049.
14. TEJEDA, S. H. y GOGAN, G. L. Métodos para determinar nitrógeno disponible en suelos con diferente origen y contenido de materia orgánica. *Agricultura Técnica (Chile)*. 30 (2): 57-64. 1970.
15. ——— y N. RODRÍGUEZ S. Determinación de las necesidades de fertilización fosfatada por medio de análisis de suelo (I). Contenido de fósforo disponible en suelos de Ñuble por diferentes métodos químicos. *Agricultura Técnica (Chile)*. (En prensa).
16. TISDALE, S. L. and NELSON W. L. *Soil fertility and fertilizers*. 2nd ed. New York, The MacMillan Company. 1966. pp. 133-137.
17. THUN, R., HERMANN, R., NICKMANN, E. *Die untersuchung von böden*. Dritte auflage. Berlin, Neuman Verlag. 1955. 271 p.