

Estudio de la lixiviación del N-NO₃ en un Andosol (Asociación Arrayán) de la provincia de Ñuble¹

Raúl Raggi M.², Waldo Espinoza G.³, y Oscar Rojas U.⁴

INTRODUCCION

Entre los elementos requeridos por los vegetales, el nitrógeno juega un papel importante en la nutrición y rendimiento de las plantas cultivadas. En consideración a que las formas minerales de dicho elemento en el suelo son escasas, la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo adquiere una importancia relevante.

El nitrógeno del suelo es absorbido por las plantas como N-NO₃, principalmente, forma química que no es retenida por los coloides cristalinos del suelo y que está sujeta a pérdidas por lixiviación como consecuencia de una alta pluviometría y/o riegos intensivos.

Se efectuó una investigación con el objeto de aportar antecedentes respecto del comportamiento de una fuente de N-NO₃ (salitre) en un Andosol de la provincia de Ñuble y determinar, específicamente, la magnitud que alcanza el movimiento del N dentro del perfil del suelo.

REVISION DE LITERATURA

En 1968, la producción de nitrato de sodio chileno alcanzó a 900.000 ton. m aproximadamente, de las cuales 650.000 fueron consumidas en el extranjero como fertilizante nitrogenado de aprovechamiento rápido (Hill, 1968) (Sociedad Química y Minera de Chile, 1968).

La experimentación con fertilizantes en Chile a una escala adecuada, data desde 1940 (Letelier, 1965) y se ha orientado específicamente hacia la búsqueda de dosis óptimas, épocas y formas de aplicación, interacciones con otros elementos dentro del suelo, etc. Todos estos estudios se han repetido en las dis-

tintas regiones agrícolas del país y dentro de la gran variedad de asociaciones de suelos que posee el territorio chileno.

Según Letelier (1965), "la tendencia general de los resultados de la experimentación agrícola con fertilizantes nitrogenados, indica una disminución en el efecto del nitrógeno hacia el sur, por lo menos de Biobío al sur. El nitrógeno es el elemento que presenta una respuesta más frecuente al norte de Biobío".

Los resultados experimentales en la zona central (Aconcagua a Talca), indican elasticidad del efecto del nitrógeno y grandes posibilidades de aumentar los rendimientos mediante la aplicación de fertilizantes nitrogenados cuando se superen las limitaciones de orden climático y cultural (Carvajal y Fernández, 1965) (Ministerio de Agricultura, 1968) (IANSA, 1962) (IANSA, 1963) (Letelier, 1965) (IANSA, 1969).

El nitrógeno al estado de nitrato (NO₃⁻), tiene una gran solubilidad al agua, del orden de 88 a 220 g/100 ml de agua, que depende de la temperatura del sistema (Hodgman *et al.*, 1956). Por esta razón, dicha sal se disuelve muy fácilmente en el agua del suelo, moviéndose libremente con ella en proporción a la cantidad y orientación del movimiento del agua en el suelo (Russell y Russell, 1964).

Según Letelier (1967), "los aniones nítrico y sulfúrico no son retenidos por los coloides inorgánicos del suelo. Por lo tanto, están expuestos gravemente a la lixiviación por exceso de lluvias o por riegos incontrolados especialmente si el suelo es muy permeable (truma) y cuando está desprovisto de vegetación (barbechos). En Chile, el peligro de lixiviación se manifiesta especialmente cuando se aplican dosis elevadas de fertilizantes nitrogenados. Cuando las aplicaciones de nitrógeno son moderadas, dicho peligro es también reducido".

Urbina (1967) determinó que: "en los suelos delgados (suelos de menos de 50 cm y más

¹Tesis presentada a la Escuela de Agronomía de la Universidad de Concepción para optar al título de Ing. Agrónomo por el primer autor.

Recepción originales: 17 de diciembre de 1969.

²Ing. Agr. Actualmente: Ministerio de Agricultura.

³Ing. Agr., M. S., Ph. D., Profesor del Departamento de Suelos, Escuela de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile.

⁴Ing. Agr., Especialista en Fertilidad de Suelos, IANSA.

de 25 cm de profundidad) de la Estación Experimental La Platina, efectuando riegos con cantidades excesivas de agua, produjeron la lixiviación de los nitratos del suelo y ello tuvo un efecto negativo en los rendimientos".

MATERIALES Y METODOS

Se empleó un suelo Arrayán (Typic Dystrandept) cuyas características físicas y químicas aparecen a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1 — Características físicas y químicas del suelo empleado en el estudio¹.

	Profundidad (cm)			
	0-25	26-50	51-75	76-100
Textura (USDA)	Franca	Franca	Franca	Frco. Arci.
pH al agua (1: 2,5)	5,6	5,8	6,0	6,1
Materia Orgánica (%)	7,44	5,32	3,07	2,07
Nitrógeno Total (%)	0,28	0,22	0,18	0,17
Relación C/N	15,55	14,13	9,94	7,11
P Asimilable Olsen (ppm-s)	0,00	0,16	3,16	8,66
Fijación de P (%)	10,3	10,6	7,8	7,8
N por incubación (mg N-NO ₃ /100 g-s)	0,277	0,00	0,00	0,00
CIC (meq/100 g-s)	28,02	28,35	26,41	20,9
Sulfato extractable (ppm-s)	4,0	2,3	1,9	2,0

¹Métodos del Departamento de Suelos de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chile.

El estudio consistió de una investigación de campo y de laboratorio. En el primer caso se evaluó la lixiviación de nitratos del suelo en parcelas de 2 × 10 m (20 m²) distribuidas de acuerdo a un diseño de bloques al azar, con 5 repeticiones, empleando remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *Sacharina*) como cultivo cobertor.

El ensayo de campo tuvo una duración de 8 meses, a través de los cuales se practicaron 10 riegos intensos y abundantes. Al final del

periodo se midió el rendimiento de raíces, hojas y coronas de remolacha. Durante la época del experimento, el clima imperante fue de temperaturas altas y de muy escasa pluviometría, como se muestra en el Cuadro 2.

Se emplearon los siguientes tratamientos de N-NO₃, aplicados a la forma de nitrato de sodio, manteniendo un nivel adecuado de fósforo, azufre y boro, como se aprecia en el Cuadro 3.

Cuadro 2 — Condiciones climáticas prevalecientes durante el período vegetativo del cultivo (octubre 1967-mayo 1968)¹.

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Temperatura media mensual del aire °C	13,1	16,6	19,7	20,2	19,2	15,9	12,6	10,1
Temperatura media Mensual del suelo °C	17,3	23,7	30,4	30,6	28,4	22,1	16,4	11,9
Pluviometría mensual, mm	65,5	23,8	16,3	0,1	19,2	41,4	51,3	7,5

¹Datos proporcionados por la Estación Agrometeorológica de la Escuela de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

Cuadro 3 — Dosis equivalentes de N-NO₃ y de nitrato sódico aplicadas a las parcelas experimentales.

	Kg N-NO ₃ /ha	Kg nitrato sódico/ha ¹
Tratamiento A	0	0
Tratamiento B	48	300
Tratamiento C	96	600
Tratamiento D	144	900
Tratamiento E	192	1.200

¹Nitrato sódico aplicado 50% de la dosis al momento de la siembra y el 50% restante después del raleo.

Cuadro 4 — Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de raíces de remolacha azucarera (Ton/ha).

	T R A T A M I E N T O S				
	A	B	C	D	E
Promedio de 5 repeticiones	58,6a	64,2b	71,8b	70,0b	69,4b

Prueba de Duncan. Promedios seguidos por letras diferentes denotan diferencias significativas al 1%.

Cuadro 5 — Análisis de varianza de los rendimientos de raíces de remolacha azucarera.

Fuente de Variación	S.C	G.L.	C.M.	F	F tabla	
				Calculado	5%	1%
Repetición	131,2	4	32,800	1,078	3,01	4,77
Tratamientos	760,0	4	190,000	6,244**	3,01	4,77
Error	486,8	16	30,425			
Total	1.378,0	24				

**Significativa al 1%

El suelo fue muestreado mensualmente a cuatro profundidades: 0-25; 26-50; 51-75 y 76-100 cm a través de la época de crecimiento del cultivo.

Después de obtenidas las muestras de suelo, éstas fueron guardadas a -5°C . Posteriormente fueron secadas a 55°C , molidas y tamizadas por abertura de 1 mm de diámetro.

Para evaluar el contenido de N-NH₄ y N-NO₃ del suelo, se utilizó el procedimiento propuesto por Bremner (1965). El procedimiento consistió básicamente en una destilación por arrastre con vapor de un extracto de suelo obtenido con KCl 2N, utilizando MgO para la determinación de N-NH₄ y MgO más aleación Debarde para la determinación de N-NO₃. El producto de la destilación se recogió en una solución indicadora de ácido bórico, que llevó una mezcla de verde de bromo cresol y rojo de metilo como indicadores. Se tituló a continuación con H₂SO₄ 0,005N estandarizado, considerando que 1 ml de H₂SO₄ 0,005N equivale a aproximadamente 70 ug de N-NH₄.

RESULTADOS Y DISCUSION

A. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de raíces de remolacha azucarera.

En el Cuadro 4 se muestra el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de raíces de remolacha azucarera (ton/ha) y en el Cuadro 5 se muestra el análisis de varianza de los rendimientos de raíces de remolacha azucarera.

Dichos resultados indican la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos con nitrato de sodio y el testigo. Sin em-

bargo, no se observa diferencias significativas entre los tratamientos que incluían diversas cantidades de nitrato.

El rendimiento alcanzado por el tratamiento testigo (56,6 ton/ha) resultó muy superior al rendimiento promedio de Nuble (35,97 ton/ha) y el rendimiento promedio máximo alcanzado en el ensayo (71,8 ton/ha) fue superior al máximo de la misma zona (39,6 ton/ha).

B. Variación del contenido de N-NO₃ en el suelo a través del período vegetativo del cultivo.

En el Cuadro 6, se muestra el contenido de N-NO₃ en el suelo, por profundidad y por tratamiento, a través del período vegetativo de la remolacha azucarera. Se aprecia que el contenido de N-NO₃ inicial del suelo (octubre) era relativamente alto, alrededor de 4,7 mg de N-NO₃/100 g, en promedio.

En el mes de noviembre, se produjo un aumento en el contenido de N-NO₃ del suelo en todos los tratamientos. Este aumento continuó hasta diciembre, donde alcanzó su máximo. Posteriormente, se observó una marcada disminución en el contenido de N-NO₃ en los meses de enero y febrero y, en algunos casos, hasta marzo. En abril, hubo una recuperación en el contenido de N-NO₃, que se mantuvo hasta mayo (Figuras 1 y 2).

Se puede apreciar que la variación del contenido de N-NO₃ del suelo, de las profundidades inmediatamente inferiores: 26-50; 51-75 y 76-100 cm, es similar a la observada en la profundidad 0-25 cm, aunque no tan marcada como ésta.

El gran contenido de N-NO₃ presentado

FIG. 1. VARIACIONES DEL CONTENIDO DE N-NO₃ EN EL SUELO A TRAVES DEL PERIODO VEGETATIVO DE LA REMOLACHA AZUCARERA. TRATAMIENTO B (300 Kg de salitre sodico/ha)

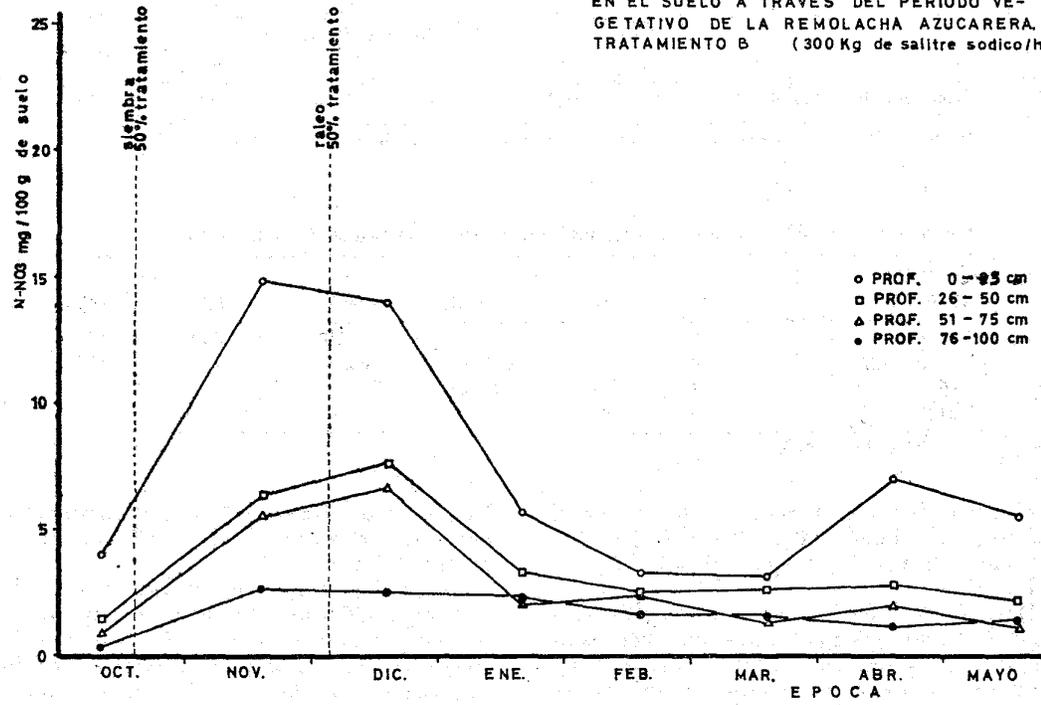
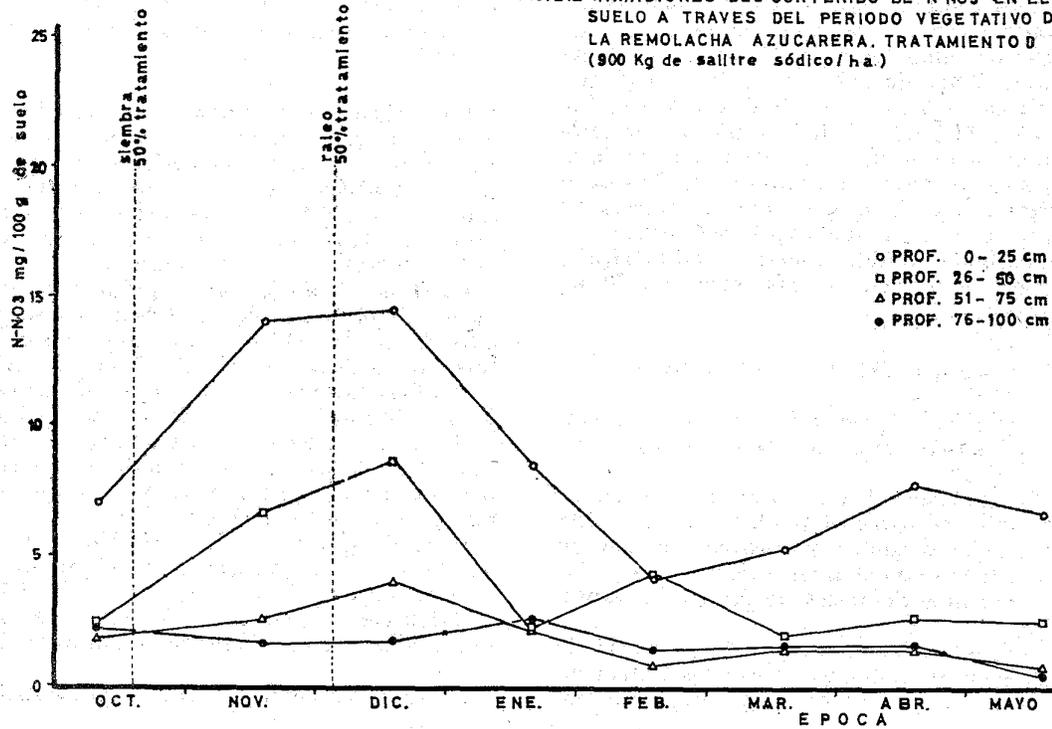


FIG. 2. VARIACIONES DEL CONTENIDO DE N-NO₃ EN EL SUELO A TRAVES DEL PERIODO VEGETATIVO DE LA REMOLACHA AZUCARERA. TRATAMIENTO D (900 Kg de salitre sódico/ha.)



Cuadro 6 — Contenido de N-NO₃ en el suelo por profundidad y por tratamiento, a través del período vegetativo de la remolacha azucarera (mg N-NO₃/100 g de suelo).

Tratamiento	Profundidad en cm	PERIODO VEGETATIVO							
		Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
A	0 — 25	1,94	11,34	20,51	5,51	4,34	3,66	5,95	5,14
	26 — 50	3,94	4,81	4,69	3,45	2,31	2,77	3,95	3,05
	51 — 75	2,37	2,14	3,89	1,86	1,63	2,66	2,15	1,81
	76 — 100	1,46	2,89	6,10	2,88	2,30	1,29	2,15	2,18
B	0 — 25	3,93	14,93	13,93	5,71	3,13	3,10	7,05	5,51
	26 — 50	1,29	6,19	7,62	7,62	3,36	2,56	2,84	2,23
	51 — 75	0,90	5,57	6,68	2,02	2,43	1,39	2,03	1,16
	76 — 100	0,25	2,73	2,54	2,38	1,88	1,56	1,17	1,34
C	0 — 25	5,30	11,66	18,25	6,17	4,47	4,85	7,70	6,28
	26 — 50	2,00	4,26	7,52	2,75	1,20	2,24	2,53	1,90
	51 — 75	0,79	1,67	3,30	2,02	2,02	1,79	2,06	0,90
	76 — 100	0,30	4,35	2,52	2,17	2,76	1,16	1,42	0,61
D	0 — 25	6,98	13,84	14,56	8,58	4,14	5,20	7,88	6,70
	26 — 50	2,44	6,64	8,73	2,26	4,17	2,04	2,85	2,53
	51 — 75	1,89	2,54	3,07	2,18	0,98	1,35	1,35	0,72
	76 — 100	2,02	1,63	1,69	2,54	1,61	1,46	1,36	0,49
E	0 — 25	5,53	12,29	25,90	7,40	4,79	4,19	7,19	6,65
	26 — 50	1,57	6,50	8,98	3,75	1,37	2,74	4,28	3,90
	51 — 75	2,52	2,50	3,51	2,95	1,54	1,36	1,48	1,11
	76 — 100	3,16	2,85	3,09	3,24	1,84	1,67	0,91	0,46

Cuadro 7 — Prueba de "t" para determinar diferencias significativas en el contenido de N-NO₃ en los primeros 25 cm del suelo entre los tratamientos. Nivel 1%*.

Tratamientos	Grados de libertad	"t" Calculado	"t" de Tabla
A y B	14	0,05	2,97
A y C	14	-0,27	2,97
A y D	14	-0,44	2,97
A y E	14	-0,55	2,97
B y C	14	-0,37	2,97
B y D	14	-0,59	2,97
B y E	14	-0,64	2,97
C y D	14	-0,17	2,97
C y E	14	-0,17	2,97
D y E	14	-0,24	2,97

*Procesado en la Computadora IBM 1620-II. 40 k del Centro de Ciencias de Computación e Información de la Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

por el tratamiento B tal como se muestra en la Figura 1, estaría indicando una gran potencialidad del suelo para acumular N-NO₃.

Russell y Russell (1964) afirmaron que el contenido de N-NO₃ en el suelo, bajo condiciones de cultivo, es muy variable a través de la época de crecimiento, debido a factores que aún no están bien determinados y que dicha variación oscila dentro de un amplio

rango, desde 2 a 20 mg de N-NO₃/Kg de suelo.

La prueba "t", Cuadro 7, practicado con el propósito de establecer comparaciones entre los contenidos de N-NO₃ a diferentes profundidades del suelo y las dosis de nitrato de sodio empleadas, indicó que los tratamientos de nitrato no influenciaron los contenidos de N-NO₃ encontrados en el suelo. Al no existir factores nutricionales y ambientales limitantes, el aumento de los nitratos del suelo experimentado por todos los tratamientos en el mes de diciembre, se debería a la actividad de los microorganismos responsables del proceso de nitrificación y no a la adición de salitre.

La disminución en el contenido de N-NO₃ que se observa en el mes de enero, puede ser atribuida a dos causas:

a) Activo metabolismo del vegetal, que se traduce en una gran absorción de N-NO₃.

b) Inmovilización o reducción del N-NO₃, debido a causas no determinadas. Ello está, en parte, respaldado por el aumento que se observa en el contenido de N-NH₄ en esta misma época.

La variación del contenido de N-NO₃ del suelo no ha sido explicada por el cambio natural que experimentan algunos factores ecológicos, ya que no se encontró una asociación

Cuadro 8 — Coeficientes de correlación* entre contenido de $N-NO_3$ de los primeros 25 cm del suelo por tratamiento vs. temperatura del suelo y del aire.

r. de	Tratamientos				
	A	B	C	D	E
Temperatura del suelo	0,47	0,27	0,37	0,33	0,44
Temperatura del aire	0,43	0,24	0,33	0,29	0,40

*Todos los valores superiores a 0,754 y 0,784 son significativos al 5 y 1%, respectivamente ($n = 5$).

entre el contenido de $N-NO_3$ de los primeros 25 cm del suelo, con respecto a la temperatura del suelo y la del aire. Ello se muestra en el Cuadro 8 y sirve para apreciar que las variaciones de los contenidos de $N-NO_3$ del suelo, dependen de otros factores ecológicos que escapan al presente estudio (Stevenson, 1964) (Alexander, 1965).

En la práctica, la variación mensual del contenido de $N-NO_3$ puede tener gran trascendencia porque el muestreo del suelo para determinar $N-NO_3$ puede, indudablemente, llevar a conclusiones erróneas respecto de la necesidad de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. Por ello, se hace necesario realizar estudios para determinar la época y profundidad del muestreo de suelos para análisis de $N-NO_3$ con fines de extensión agrícola.

C. Variaciones del contenido de $N-NO_3$ con la profundidad del suelo.

En el Cuadro 9 se muestran los coeficientes de correlación entre el contenido de $N-NO_3$ por tratamiento y la profundidad de muestreo a través del período de crecimiento del vegetal. De este cuadro se deduce que la mayor acumulación de $N-NO_3$ se produce en los primeros 25 cm de suelo y que este contenido disminuye a medida que aumenta la profundidad del mismo. Esto demuestra que

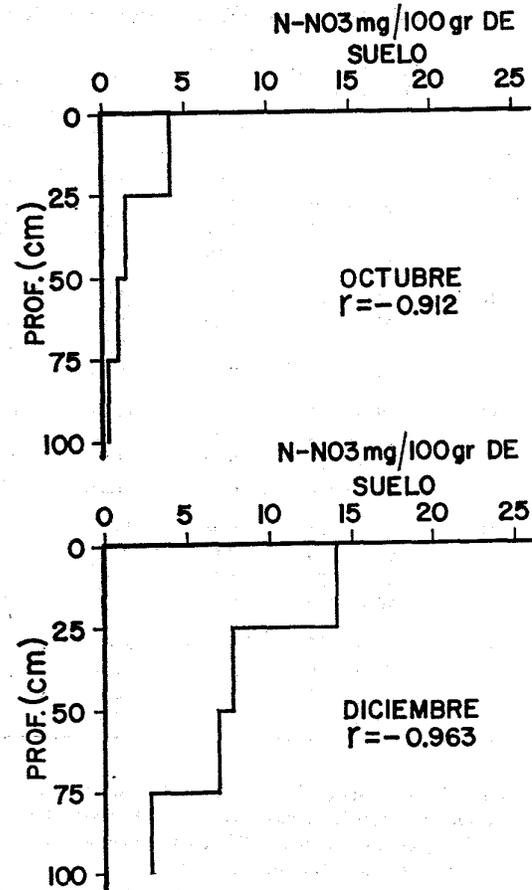


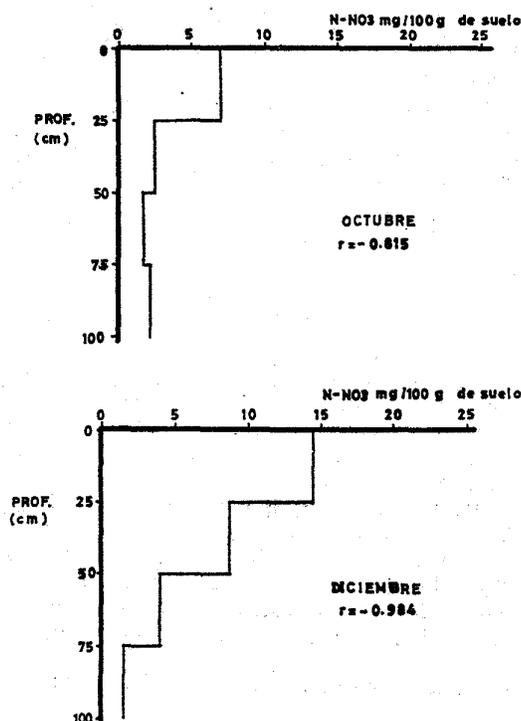
Figura 3 — Variación del contenido de $N-NO_3$ con la profundidad del suelo. Tratamiento B.

a pesar de haber regado en forma intensa y abundante, en la forma que acostumbra el agricultor de la zona, el fenómeno de lixiviación y el movimiento del $N-NO_3$ a través del perfil, ha sido mínimo. Ello revela que los

Cuadro 9 — Coeficientes de correlación* entre el contenido de $N-NO_3$ por tratamiento vs. profundidad de muestreo a través del período vegetativo de remolacha azucarera.

Trat.	Período vegetativo							
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo
A	-0,35	-0,86	-0,72	-0,79	-0,74	-0,95	-0,94	-0,87
B	-0,91	-0,91	-0,96	-0,88	-0,97	-0,91	-0,91	-0,86
C	-0,92	-0,73	-0,91	-0,84	-0,39	-0,91	-0,86	-0,88
D	-0,81	-0,94	-0,98	-0,75	-0,83	-0,84	-0,87	-0,91
E	-0,47	-0,91	-0,89	-0,82	-0,69	-0,90	-0,96	-0,97

*Todos los valores superiores a 0,423 y 0,537 son significativos al 5 y 1%, respectivamente ($n = 20$).

FIG. 4. VARIACION DEL CONTENIDO DE N-NO₃ CON LA PROFUNDIDAD DEL SUELO. TRATAMIENTO D

suelos derivados de cenizas volcánicas (trumaos) que contienen alofán, a pesar de ser permeables al agua, poseen algún mecanismo biológico o físico-químico, que permite la retención de aniones en el suelo. Una conclusión similar ha sido obtenida por Singh y Kanehiro (1969) trabajando con suelos amorfos y kaolíníficos de Hawaïi, quienes agregaron que el fenómeno se debe a una propiedad del alofán de presentar sitios protonizados a pH's ácidos.

En las Figuras 3 y 4 se presenta la variación del contenido de N-NO₃ con la profundidad en octubre y diciembre para los tratamientos B y D. Inicialmente en octubre, la acumulación del N-NO₃ en el suelo, en parte de los tratamientos, no se encuentra asociada con la profundidad del mismo. Sin embargo, en diciembre, cuando el suelo ha recibido una fertilización nitrogenada y ha aumentado la actividad microbiológica, se produce una marcada acumulación de N-NO₃ en la primera profundidad del suelo, con lo cual la correlación negativa entre contenido de N-NO₃ y profundidad del suelo aumenta notablemente.

La baja correlación inicial (octubre) se debería a que antes del ensayo el suelo estuvo sin cubierta vegetal que impidiera, en cierta medida, el lavado de los nutrientes por acción del agua de lluvia. Además, es probable que en dicha época los microorganismos del

Cuadro 10 — Contenido de N-NH₄ en el suelo por profundidad y por tratamiento, a través del período vegetativo de la remolacha azucarera (mg N-NH₄/100 g de suelo).

Trat.	Profundidad (cm)	Período vegetativo							
		Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
A	0-25	1,83	1,05	1,88	1,25	1,28	0,80	2,42	2,65
	26-50	0,89	0,89	1,43	1,18	1,18	0,41	1,76	2,03
	51-75	0,73	0,75	0,80	0,93	0,72	0,46	1,87	1,66
	76-100	0,96	0,58	1,33	0,66	0,68	0,46	1,54	1,49
B	0-25	0,83	1,18	1,44	1,16	1,08	1,22	2,70	2,48
	26-50	0,41	0,88	1,25	1,79	0,91	0,40	2,28	1,75
	51-75	0,18	0,64	1,37	0,88	0,70	0,48	1,61	1,72
	76-100	0,37	0,64	1,35	0,80	0,69	0,19	1,22	1,37
C	0-25	0,72	1,21	1,78	1,32	1,06	1,10	2,44	2,60
	26-50	0,37	1,59	1,52	1,07	0,04	0,30	1,90	2,01
	51-75	0,37	1,22	1,03	0,87	0,55	0,27	1,60	1,71
	76-100	0,76	0,70	1,00	0,70	0,44	0,65	1,15	1,39
D	0-25	0,76	1,40	1,66	1,16	1,00	1,01	2,63	2,44
	26-50	0,74	0,96	1,53	1,11	0,66	0,84	2,08	2,08
	51-75	0,47	1,13	1,08	0,87	1,06	0,40	1,82	1,66
	76-100	0,42	1,13	1,09	0,67	0,48	0,21	1,42	1,43
E	0-25	1,03	1,14	1,69	1,16	1,00	0,89	2,51	2,44
	26-50	0,59	1,29	1,69	0,99	1,33	0,48	2,27	2,04
	51-75	0,54	1,37	1,57	0,91	0,92	0,25	1,87	1,62
	76-100	0,25	0,86	1,27	0,76	0,66	0,28	1,65	1,42

suelo no hayan alcanzado su actividad máxima.

El Cuadro 9 indica, además, que en los tratamientos con nitrato de sodio las correlaciones del contenido de $N-NO_3$ con la profundidad son altas y negativas ($r = -0,8$) y que, en general, se mantienen más o menos constantes a través del período vegetativo de la remolacha. El testigo, presentó coeficientes de correlación variables, pero en todo caso elevados, con excepción del mes de octubre.

D. Variación del contenido de $N-NH_4$ en el suelo a través del período vegetativo de la remolacha azucarera.

En el Cuadro 10 se muestran los contenidos de $N-NH_4$ por profundidad y por tratamiento desde octubre a abril.

Se aprecia que los contenidos de $N-NH_4$ son bajos y muy inferiores a los valores de $N-NO_3$ y que varían muy poco a través de la época de crecimiento.

Sin embargo, en octubre, en la profundidad 0-25 cm, los contenidos de $N-NH_4$ y $N-NO_3$ resultaron ser aproximadamente iguales. Esto indicaría una falla en el proceso de nitrificación del suelo.

Las mayores variaciones del contenido de $N-NH_4$ en el suelo, se produjeron en los primeros 25 cm y siguieron un modelo similar al del $N-NO_3$. Las variaciones presentadas por

las profundidades inferiores del suelo, fueron similares a la primera profundidad y, en algunos casos como diciembre, los contenidos de $N-NH_4$ de los horizontes más profundos, fueron prácticamente iguales a los de la primera profundidad.

Las variaciones del $N-NH_4$, al igual que los del $N-NO_3$, parecen depender de los procesos de mineralización (diciembre) e inmovilización o utilización por los cultivos (enero-marzo). Al mismo tiempo, es interesante constatar que las variaciones de los contenidos de $N-NH_4$ y $N-NO_3$, a través de la estación de crecimiento del cultivo, fueron independientes de la dosis de fertilizante y parecen corresponder a la acción resultante de las características biológicas del suelo y las necesidades de nutrientes del cultivo coberto. Aún más, en el Cuadro 10 se observa que el contenido de $N-NH_4$ del suelo se mantiene aproximadamente constante a través de la estación de crecimiento del cultivo, en cambio las variaciones de mayor magnitud corresponden al contenido de $N-NO_3$. Esto último es esperado puesto que la forma química $N-NO_3$ ha sido agregada con el fertilizante y es absorbida por el vegetal. También es interesante

agregar que la relación $\frac{N-NO_3}{N-NH_4}$ es mayor

Cuadro 11 — Efecto de la adición de $N-NO_3$ y de la estación de crecimiento sobre la relación $N-NO_3/N-NH_4$, en la primera profundidad del suelo.

Trat.		Período vegetativo							
		Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
A	$N-NO_3$ (mg/100 g)	1,94	11,34	20,51	5,51	4,34	3,66	5,95	5,14
	$N-NH_4$ (mg/100 g)	1,83	1,05	1,88	1,25	1,28	0,80	2,42	2,65
	$\frac{N-NO_3}{N-NH_4}$	1,06	10,80	10,91	4,40	3,39	4,57	2,46	1,94
E	$N-NO_3$ (mg/100 g)	5,53	12,29	25,90	7,40	4,79	4,19	7,19	6,65
	$N-NH_4$ (mg/100g)	1,03	1,14	1,69	1,16	1,00	0,89	2,51	2,44
	$\frac{N-NO_3}{N-NH_4}$	5,36	10,78	15,32	6,37	4,79	4,70	2,86	2,72

en los tratamientos que recibieron nitrato de sodio (Cuadro 11). Esto es especialmente notorio en el mes de octubre. En todo caso las variaciones que experimenta dicha relación son independientes de los tratamientos y varían en forma aproximadamente similar a través del ciclo vegetativo del cultivo.

E. Variaciones del contenido de $N-NH_4$ con la profundidad del suelo.

En el Cuadro 12 se muestran los coeficientes de correlación entre el contenido de

$N-NH_4$ por tratamiento vs. profundidad de muestreo a través del período vegetativo de la remolacha azucarera.

Se observa que los coeficientes de correlación mencionados, presentan variaciones muy marcadas a través del período de crecimiento del cultivo, pero indicando siempre que la mayor acumulación de $N-NH_4$ se produce en los primeros 25 cm, disminuyendo a medida que aumenta la profundidad del suelo.

Debido a la gran variabilidad de los coeficientes de correlación, parecería que los con-

Cuadro 12 — Coeficientes de correlación* entre el contenido de N-NH₄ por tratamiento y la profundidad de muestreo a través del período vegetativo de la remolacha azucarera.

Trat.	Período vegetativo							
	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo
A	-0,72	-0,99	-0,66	-0,97	-0,94	-0,69	-0,87	-0,96
B	-0,75	-0,93	-0,26	-0,74	-0,95	-0,86	-0,99	-0,93
C	-0,06	-0,66	-0,95	-0,23	-0,93	-0,46	-0,99	-0,98
D	-0,93	-0,46	-0,11	-0,97	-0,54	-0,98	-0,99	-0,99
E	-0,95	-0,43	-0,89	-0,99	-0,67	-0,90	-0,99	-0,98

*Todos los valores superiores a 0,423 y 0,537 son significativos al 5 y 1%, respectivamente (n = 20).

ténidos de N-NH₄ son función de factores no controlados en el presente estudio.

En los meses de abril y mayo, se observa una acumulación de N-NH₄ en la profundidad 0-25 cm por lo cual la correlación negativa de N-NH₄ vs. profundidad de muestreo, se hace mayor. Esto significaría una reactivación de los procesos de mineralización.

CONCLUSIONES

En las condiciones experimentales establecidas, no se detectó lixiviación de N-NO₃ o N-NH₄, a pesar que los riegos fueron intensos y abundantes. El estudio reveló la existencia de una alta correlación negativa entre el contenido de N-NO₃ y N-NH₄ y profundidad del suelo, lo cual indica que ambos compuestos se acumularon en las primeras profundidades del suelo. Este fenómeno puede estar relacionado con las propiedades físicas y químicas de los coloides inorgánicos del suelo.

El contenido de N-NO₃ del suelo, en espe-

cial en la profundidad 0-25 cm, es muy variable a través del período vegetativo del cultivo, lo cual es un índice de la dinámica de los microorganismos y de la estacionalidad de los requerimientos de N por el cultivo cobertor. Esto puede tener una enorme proyección en la determinación de la época y profundidad de muestreo en estudios de fertilidad de suelo.

El contenido de N-NH₄ del suelo, siempre máximo en la profundidad 0-25 cm, varió escasamente a través del período del experimento, sin embargo, al igual que el N-NO₃ presentó un máximo en diciembre, disminuyó en enero y aumentó nuevamente en abril y mayo.

Las dosis de nitrato de sodio, la temperatura del aire y la del suelo, no afectaron los contenidos de N-NO₃ y N-NH₄ del suelo, por lo que parecen existir mecanismos biológicos que regulan las transformaciones del N del suelo, que escapan al análisis del presente trabajo.

RESUMEN

Se realizó una investigación acerca de la lixiviación del N-NO₃ en un Andosol (Asociación Arrayán) de la provincia de Ñuble (Chile), cultivado con remolacha azucarera (*Beta vulgaris* var. *Sacharina*) y sometido a riegos intensos y abundantes y a diferentes dosis de nitrato de sodio (16% N): 0-1.200 Kg nitrato de sodio/ha. El contenido de N-NO₃ y N-NH₄ del suelo fue evaluado mensualmente durante el período vegetativo de la remolacha azucarera a cuatro profundidades, mediante la técnica de Bremner.

La investigación reveló, que para las condiciones del experimento, el N-NO₃ se acumuló en la primera profundidad del perfil, lo cual puede ser atribuido a la presencia del alofán en la fracción coloidal de estos suelos. El contenido de N-NH₄ se mantuvo constante a través del período de crecimiento de la remolacha azucarera y también alcanzó valores máximos, aunque inferiores al N-NO₃ en la profundidad de 0-25 cm.

El contenido de N-NO₃ del suelo no fue influenciado por las dosis de nitrato de sodio, ni por las temperaturas del aire y del suelo.

SUMMARY

A research on the leaching of soil $\text{NO}_3\text{-N}$ in an Andosol (Arrayán of the Ñuble province (Chile, 36°S) was conducted. Sugar beet (*Beta vulgaris* var. Sacharina) at different sodium nitrate rates (16% N) was used as a cover crop. Intensive and abundant irrigation was performed, throughout the growth period of the crop.

$\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the soil was evaluated by sampling the plots each month at the following depths: 0-25 cm, 26-50 cm, 51-75 cm and 76-100 cm and by using the steam distillation procedure of Bremner, after displacing $\text{NO}_3\text{-N}$ or $\text{NH}_4\text{-N}$ with 2N KCl.

Leaching of $\text{NO}_3\text{-N}$ or $\text{NH}_4\text{-N}$ in the Arrayán soil was not observed and this was indicated by an accumulation of mineral-N forms at the top 25 cm of the soil profile. This is attributed to allophane, the predominant clay-size minerals of these soils.

$\text{NO}_3\text{-N}$ content of the soil was highly variable throughout the growth period of the sugar beets. $\text{NH}_4\text{-N}$, showed to be low compared to $\text{NO}_3\text{-N}$ content and highly constant throughout the growing season of the crop.

Soil and air temperature and sodium nitrate rates did not influence the $\text{NH}_4\text{-N}$ nor the $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the soil.

LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, MARTIN. 1965. Nitrification. IN Soil Nitrogen Ed. by W. V. Bartholomeu and Francis E. Clark. Number 10 in the Series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA. pp. 307-343.
- BREMNER, J. M. 1965. Inorganic forms of nitrogen. IN Black, C. A. Ed. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy Inc. pp. 1179-1237.
- CARYAJAL G., LUIS y FERNÁNDEZ DEL P., MIGUEL. 1965. Programa de creación y promoción de antecedentes técnicos del salitre. Santiago, Chile, Corporación de Ventas de Salitre y Yodo de Chile. 19 p.
- HILL, W. L. 1968. Necesidad de fertilizantes. EN Centro Regional de Ayuda Técnica. Agricultura Mundial; el mundo del agricultor. México, D. F. pp. 162-168.
- HODGMAN, CHARLES D., WEAST, ROBERT C. AND SELBY, SAMUEL M., EDS. 1956. Hand book of chemistry and physics. Thirty eight edition. Cleveland, Ohio, Chemical Rubber Publishing Co. p. 1602.
- INDUSTRIA AZUCARERA NACIONAL. 1969. Estadística; campaña 1968; Boletín Remolachero, Chile 13 (42): 24.
- _____. 1962. Investigación agronómica en remolacha azucarera 1961-1962. Santiago, Chile. pp. 85-90.
- _____. 1963. Investigación agronómica en remolacha azucarera 1962-1963. Santiago, Chile. pp. 52-56, 67-94.
- LETELIER ALMEYDA, ELÍAS. 1965. Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena (II). Agricultura Técnica (Chile). 25 (4): 137-154.
- _____. 1967. Manual de fertilizantes para Chile. Banco del Estado de Chile. 1ª edición. Santiago, Chile, Editorial del Pacífico S. A., p. 99.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1968. Cuarta memoria anual del Instituto de Investigaciones Agropecuarias 1967-1968. Santiago-Chile. pp. 41-46.
- RUSSELL, SIR E. JOHN AND RUSSELL, E. WALTER. 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Traducción. 8ª edición inglesa. Madrid, España, Aguilar. 771 p.
- SOCIEDAD QUÍMICA y MINERA DE CHILE. 1968. Ideas generales sobre las actividades de la Sociedad Química y Minera de Chile S. A. Santiago, Chile. 9 p.
- SINGH, B. R. AND KÁNEHIRO, Y. 1969. Adsorption of nitrate in amorphous and kaolinitic Hawaiian soils. Soils Sci. soc. Amer. proc. 33: 681-683.
- STEVENSON, F. J. 1964. Soil nitrogen. IN Fertilizer Nitrogen: Its Chemistry and Technology. Ed by Vicent Sanchelli. American Chemical Society Monograph Series. Second Printing 1968. Reinhold Book Corporation, New York. pp. 15-39.
- URBINA, ANGELA. 1967. Los riegos con exceso de agua arrastran los nitratos del suelo. Investigación y Progreso Agrícola, Chile 1: 16.