

Biblioteca

TESIS

1.085

1.085

FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

RECUPERACION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS
(urea y sulfato de amonio)
EN SUELOS DEL URUGUAY

Ricardo Veirano
(1974)

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

RECUPERACION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

(urea y sulfato de amonio)

EN SUELOS DEL URUGUAY.

Ricardo Veirano

(1974)

Ricardo Veirano

I. Introducción	página 1
II. Revisión bibliográfica	" 2
III. Materiales y métodos	" 11
IV. Resultados y discusión	" 13
V. Conclusiones	" 21
VI. Bibliografía	" 22

Prof. Dr. Ricardo Veirano
Prof. Dr. Ricardo Veirano de Udelar
Ricardo Veirano

RECUPERACION DE FERTILIZANTES NITROGENADOS (urea y sulfato de amonio) EN SUELOS DEL URUGUAY.

I. Introducción.

La eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados es uno de los principales temas desde el punto de vista agronómico. El nitrógeno agregado al suelo está sometido a diversos procesos de naturaleza biológica principalmente, y también química. Dichos procesos son hidrólisis, amonificación, inmovilización por microorganismos, fijación en los coloides del suelo, nitrificación, desnitrificación, lavado, volatilización, etc.

La magnitud de estos procesos determina en última instancia, la cantidad del nitrógeno agregado como fertilizante que es tomado por los cultivos. La mineralización e inmovilización proceden simultáneamente y esto ocasiona una mayor toma de nutrientes por el vegetal si la primera sobrepasa a la segunda.

Esto lleva a considerar el resultado neto de esas ganancias y pérdidas, o sea el balance de nitrógeno, bajo condiciones experimentales controladas. La importancia del balance radica en el hecho de poder cuantificar las pérdidas de nitrógeno agregado y establecer las vías por las cuales se producen las mismas.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar las recuperaciones del nitrógeno agregado como urea y sulfato de amonio a suelos sobre areniscas del Cretáceo, limos de Fray Bentos y lavas de Arapey. Los fertilizantes fueron elegidos dada su importancia en nuestro medio agrícola y los suelos por sus contrastantes características de fertilidad potencial.

Por errores experimentales no ha podido concretarse el segundo objetivo de este trabajo consistente en establecer un balance del N agregado, midiendo el N recuperado en raíces, parte aérea y suelo, estimando de esta forma mediante la diferencia con el N agregado, el nitrógeno perdido en forma gaseosa.

II. Revisión bibliográfica.

(1) Recuperación de fertilizantes nitrogenados.

Metodología empleada en ensayos de recuperación de nitrógeno.

Hay dos formas de medir la recuperación por parte del cultivo del nitrógeno aplicado:

(a) diferencia entre la absorción de N total en suelos tratados y no tratados, expresado como porcentaje del N-fertilizante agregado.

(b) medición directa, solamente realizable cuando se emplea N^{15} .

El método de diferencia implica que las transformaciones enumeradas anteriormente son las mismas tanto en el suelo tratado como en el no tratado, durante el curso del experimento. En general esta suposición es errónea, y sobreestima la cantidad tomada cuando se compara con el método de dilución isotópica. Esto se aprecia claramente en el cuadro siguiente tomado de Hauck (1969):

<u>Valores de recuperación del N</u>	
<u>recuperación por el vegetal del N aplicado</u>	
<u>por diferencia (%)</u>	<u>con N^{15}</u>
67-72	60-65
47-53	40-48
76-78	72-75
63-67	58-62
98	77

Además como en los experimentos usando el método por diferencia no se puede identificar el nitrógeno proveniente del fertilizante y el proveniente del suelo, se oscurecen los efectos del N agregado en cuanto a estimular o deprimir la mineralización del N orgánico del suelo. En el caso de estimular la mineralización del N orgánico, los valores de recuperación lógicamente se sobreestiman. En este sentido Sapozhnikov et al. (1968) trabajando con N^{15} en suelos pedizólicos de la U.R.S.S. en condiciones de invernadero, encontraron que fertilizantes nitrogenados (principalmente sulfato de amonio) provocaron incrementos significativos en la toma de N del suelo por las plantas. Este efecto se incrementó a medida que se incrementaban -

las dosis de N-fertilizantes (ver la tabla siguiente):

Toma de nitrógeno por las plantas (mg./maceta)

total	proveniente del	proveniente del suelo	
	fertilizante	total	en adición al testigo
<u>TRIGO</u>			
94	—	94	—
479	283	196	102
554	361	192	98
<u>MAIZ</u>			
156	—	156	—
492	257	235	79
541	370	171	15

Resultados similares fueron obtenidos por Badzhov e Ikonomova (1969) y también por Myers y Paul (1969).

Zamyatina et al. (1968) puntualizan que la toma de N proveniente del suelo es incrementada al aplicar fertilizantes nitrogenados, y que esto es la causa de los valores excesivos de recuperación del N por el método de diferencia comparados con aquellos obtenidos por el método isotópico.

Andreeva y Scheglova (1968) encontraron que la movilización de N del suelo es mayor cuando se aplican fertilizantes amoniacales (sulfato de amonio o urea) que cuando se aplican iguales cantidades de fertilizantes nítricos (nitrato de potasio o de calcio). También determinaron que el N del suelo es tomado más intensivamente (50-100%) al aplicar fertilizantes nitrogenados.

En oposición a los resultados anteriores, algunos autores han encontrado un efecto depresivo de la fertilización nitrogenada en la mineralización del N del suelo. Tal es el caso de los resultados de Megusar (1968) obtenidos en condiciones de laboratorio, y seguramente el efecto fue debido a la fijación en la fracción mineral del suelo.

En Rothamsted se han determinado valores de recuperación que a menudo exceden del 70% (Cooke, G.W., 1964 citado por Whitehead, 1979). Ocasionalmente los valores de recuperación exceden el 100% y esto sugiere que la fertilización incrementa la disponibilidad de N del suelo. A ba-

las dosis de N, gran parte del fertilizante es probable que permanezca en las raíces y con altas dosis es probable que una gran parte no sea absorbida. Estas tendencias se aprecian en la tabla adjunta:

recuperación del N-fertilizante por *L. multiflorum* (ryegrass)

I.C.I. Ltd. (1966) citado por Whitehead (1970)

N aplicado (lb/acro/año)	0	94	188	282	376	470	753
recuperación del N aplicado (%)	-	47	59	62	57	53	42

Allison (1965) comenta los métodos para determinar la recuperación del nitrógeno y dice así:

"obviamente el método con N^{15} es más seguro, pero muy más caro y complicado. Por otro lado, el método de diferencia es generalmente preferible para uso de agrónomos los cuales están interesados principalmente en la evaluación práctica de la respuesta a la fertilización. En este último método, la exactitud parece aumentar si se hace crecer un segundo cultivo no fertilizado para remover el N residual".

Resultados experimentales.

Experimentos con nitrógeno marcado y no marcado revisados por Allison (1966) indican recuperaciones promedio del N-fertilizante bajo condiciones de campo en una sola cosecha, que varían entre 50-70% del agregado.

En Bulgaria (Zedchev e Ikononova, 1969) se estudió la aplicación de fertilizantes- N^{15} y se encontró que la absorción de nitrógeno por las plantas variaba entre 47 y 56%, y bajo condiciones de campo desde 40-43%. El nitrógeno del suelo resultó ser la fuente de la mitad del N absorbido por las plantas.

Westerman et al. (1972) informan los resultados de dos experimentos de campo efectuados en dos años distintos, ambos sobre suelo franco ligero. Los fertilizantes fueron urea y oxamida marcadas con N^{15} . En el primer experimento las recuperaciones del nitrógeno en el total de cortes efectuados a sudangrass totalizaron 51% de la urea y 52% de la oxamida; en el segundo experimento se incrementó sustancialmente la recuperación, alcanzando valores de 93% y 99% del N proveniente de urea y oxamida respectivamente.

Viets (1960) informa los resultados de algunos experimentos de campo efectuados en el oeste de U.S.A., en los cuales todo el N agregado que pudo ser removido por las cosechas fue medido en condiciones en que no hubo la-

vado. En Newell (Dakota del Sur) se aplicó nitrato de amonio en 4 niveles (0, 40, 80 y 160 lb. de N/acre) y los porcentajes de recuperación por *Bromus* sp.-trigo fueron 34.1 , 40.6 y 50.1% respectivamente. El suelo era calcáreo de pH 7.7.

En otro experimento en Prosser (Washington) en un suelo franco arenoso fino, se estudió la recuperación del N-fertilizante en tres fuentes a tres dosis de aplicación, en una secuencia de cuatro cultivos seguidos por dos años de maíz sin fertilizar. Los resultados se ven en la tabla siguiente:

fuente de nitrógeno	N total aplicado (lb/acre)			
	160	320	640	media
nitrato de calcio	66.9	81.2	82.7	76.9
nitrato de amonio	76.3	86.6	85.9	82.9
sulfato de amonio	75.6	86.9	88.4	83.6
promedio	73.1	84.9	85.7	81.2

La secuencia de cultivos empleada fue sorgo, papa, remolacha azucarera, sorgo; en cada cultivo se agregó el fertilizante nitrogenado en dosis de 40, 80 y 160 lb. de N por acre. Luego creció maíz sin fertilizar para determinar el N residual. Los datos muestran un incremento marcado en la recuperación de nitrógeno con incrementos en el nivel de aplicación.

Broadbent y Nakashima (1965) estudiando el efecto de la preincubación con paja en la recuperación de fertilizante nitrogenado por el método de sustracción, establecieron que independientemente del tiempo de preincubación, la recuperación neta del N-fertilizante fue 41% en ausencia de paja comparado con 22% en su presencia en un suelo franco arenoso; en un suelo arcilloso dichos valores fueron 82% y 34% respectivamente.

(2) Balance del nitrógeno aplicado.

En los últimos veinte años se han publicado numerosos artículos sobre este punto. En el presente trabajo usaremos las revisiones de Allison (1955, 1966), los artículos publicados por FAO/IAEA, Kundler (1970), etc.

Allison (1965) define el término balance como el resultado neto de la suma de ganancias y pérdidas. Estos balances se efectúan en condiciones de laboratorio, invernáculo y campo.

Según Allison (1955) el experimento ideal para establecer balances de nitrógeno es aquel donde se hacen varias aplicaciones de N, crecen varios cultivos de no-leguminosas y se analizan todos los cultivos y el suelo. En los ensayos de balance fuera del invernáculo, existen mayores oportunidades para pequeñas pérdidas (particularmente de restos vegetales). En el invernáculo hay mayor probabilidad para la denitrificación debido a la inundación temporal del suelo.

Viets (1960) opina que a través del uso de grandes cantidades de nitrógeno durante un período de tiempo, el N no recuperado por los cultivos es de tal magnitud que puede ser detectado en el suelo.

Además de ser más rápidas, precisas y económicas que las determinaciones de campo, los balances de nitrógeno a nivel del invernáculo ofrecen algunas ventajas como ser por ejemplo eliminar las pérdidas debidas a lavado, impedir el aporte de nitrógeno por las lluvias, permitiendo estudiar la influencia de un determinado factor (contenido en arcillas, materia orgánica, etc.) dejando constantes el resto.

Los balances se efectúan con N marcado y no marcado, y valen aquí los mismos juicios críticos que se efectuaron anteriormente. Según Whitehead (1970) los valores obtenidos de balances de nitrógeno que se efectúan por diferencia, están sujetos a errores acumulativos debido a las determinaciones involucradas y a subestimación de las ganancias no cuantificadas.

Allison (1966) extrae las siguientes conclusiones de su revisión efectuada en 1955:

- datos de algunos experimentos de invernáculo, muestran que el nitrógeno no encontrado varía desde cero hasta 50%.

- en experimentos de campo de larga duración donde el nitrógeno lavado no fue determinado, el nitrógeno no recuperado generalmente varía entre 50 y 75%. La evidencia indica que este nitrógeno no recuperado fue perdido por lavado, pero frecuentemente las pérdidas gaseosas parecen ser bastante grandes.

(2.1) Experimentos de invernáculo.

Broadbent y Tyler (1962) publicaron datos de experimentos - maceteros usando un suelo franco arenoso, cultivado y no cultivado, con y sin agregado de paja. Los resultados se observan en la tabla siguiente:

fuerza de N^{15}	recuperación : de N (cultivo + suelo)
KNO_3 (cultivado)	65-79%
KNO_3 (no cultivado)	53-62%
$(NH_4)_2SO_4$ (cultivado)	68-80%
$(NH_4)_2SO_4$ (no cultivado)	56-72%

Las mayores recuperaciones se obtuvieron en suelo cultivado y el sulfato de amonio da valores mayores que el nitrato de potasio. Adiciones de paja resultaron en mayores recuperaciones de nitrógeno tanto en suelo cultivado como no cultivado y con ambas fuentes de nitrógeno.

Paul y Myers (1971) usaron $^{15}NH_4NO_3$ en un ensayo de invernáculo para estudiar el efecto del estrés de humedad en la utilización de N por trigo. Esto permitió determinar la recuperación de N en el sistema suelo-planta de dos suelos chernosómicos. Los efectos del estrés de humedad fueron menos evidentes en un suelo arcilloso que en uno franco. Aproximadamente 55% del N utilizado por las plantas proviene del N orgánico del suelo que fue mineralizado durante el período de crecimiento. Entre 59 y 71% del N-fertilizante fue utilizado por las plantas, 20-36% permaneció en el suelo y de 1-17% fue perdido seguramente por desnitrificación. Las pérdidas fueron mayores en suelos expuestos a altos estrés de humedad y estuvieron relacionadas con los niveles de $N-NO_3^-$ residual. La inmovilización del N fue mayor a bajos estrés de humedad donde el crecimiento vegetal fue mayor.

Walker et al. (1956) estudiaron la recuperación del N proveniente de nitrato de potasio y de sulfato de amonio por ryegrass creciendo en un suelo arenoso limoso fino con un contenido de N bajo (0.0533%). La humedad se mantuvo a 70% de la capacidad de campo. Las recuperaciones de N (cultivo más suelo) son las siguientes:

fuerza de N^{15}	dosis (mg)	% recuperación (cultivo + suelo)
$(NH_4)_2SO_4$	99.2	70
	198.4	75
KNO_3	91.2	66
	182.3	71

Los autores atribuyen esas pérdidas de N-fertilizante a desnitrificación desde el momento que afirman que sus macetas no estuvieron bien aireadas.

(2.2) Experimentos de campo.

Carter et al. (1967) estudiaron el movimiento y recuperación de fertilizantes nitrogenados marcados con N^{15} . Los fertilizantes fueron nitrato de sodio y sulfato de amonio. Las parcelas consistieron en la masa del suelo encerrado en cilindros de metal de 30-60 cm. de diámetro y 45-60 cm. de profundidad. Estas parcelas fueron tanto sembradas con sudangrass o dejadas sin cultivar. Se analizó la parte aérea, raíces y suelo, tanto para N total e contenido de N^{15} . El suelo empleado fue franco arenoso de pH 5.9 y contenido de N menor a 0.045%. Se emplearon tres rangos de pH obtenidos a partir del suelo original mediante encalado o agregado de ácido. Los fertilizantes se aplicaron a dos niveles: 336 y 672 Kg/há.

La toma de N^{15} por las plantas fue ligeramente mayor en el caso del amonio que en el de nitrato. Hubo mayor absorción de N^{15} en la parte aérea a los mayores niveles de pH en las parcelas tratadas con amonio. La recuperación total de N-fertilizante varió desde 88% (suelo no cultivado) hasta 98% (suelo plantado con sudangrass). Los autores concluyen que 4-12% del N-fertilizante no encontrado, parece deberse a pérdidas en forma gaseosa ya que se tomaron precauciones especiales para restringir el lavado y eliminar errores de muestreo y análisis.

Ditz y Woldendorp (1960) efectuaron un balance del N-fertilizante en gramíneas. Alrededor de 60% del N agregado fue encontrado en la parte aérea y al finalizar el experimento una parte sustancial del N^{15} agregado se encontraba incorporado a raíces y suelo. En un suelo turboso, 19-40% del nitrógeno no fue encontrado comparado con 16-31% para un suelo arcilloso y 11-25% para un suelo arenoso.

Westerman et al. (1972) determinaron una recuperación total del N-urea del 79% (planta más suelo). La cantidad de N remanente en el suelo al final del experimento fue 28% del N agregado y hubo un déficit de 21%, probablemente debido a denitrificación durante periodos de deficiencia de oxígeno cuando la superficie del suelo fue humedecida por lluvias o riego.

Kundler (1970) en una revisión de resultados internacionales de los últimos 10 años, expresa lo siguiente: "de acuerdo con los experimentos efectuados con N^{15} , de 10 a 40% del N-fertilizante es inmovilizado en la materia orgánica del suelo, 10-30% es perdido y solamente 30-70% puede ser recuperado en el cultivo". Más adelante agrega: "en las condiciones prevalentes en la práctica agrícola, no más de 5-10% del N-fertilizante es perdido por lavado en el curso de un año. Las principales pérdidas son en fer-

na gaseosa, como resultado de volatilización de amonio, denitrificación y descomposición química de los nitritos?

(3) Conclusiones.

Obviamente los estudios de recuperación del nitrógeno agregado como fertilizante están relacionados a los de balance. Estos estudios importan en la medida que contribuyan a establecer prácticas de manejo agrícola adecuadas para incrementar la utilización del N por los cultivos o al menos que este se mantenga en el sistema suelo-planta disminuyendo en lo posible las pérdidas en forma gaseosa, por lavado, erosión, etc.

A continuación se analizan en forma resumida los principales factores que afectan la recuperación y el balance del N en el suelo:

i) Fertilizantes: Los fertilizantes con nitrógeno combinado en formas oxidadas (es decir nitrógeno nítrico) dan en general menores valores en los balances que las formas reducidas (es decir amoniacales como por ej. urea y sulfato de amonio). Esto puede fundamentarse en base a los siguientes hechos:

- el nitrato es más rápidamente lavado en los suelos que el amonio.
- el nitrato es reducido por los microorganismos del suelo denitrificantes, hasta formas gaseosas consecuentemente perdidas del sistema.
- uno de los pasos intermedios de la denitrificación es la formación de NO_2^- que también puede ser lavado, y en suelos ácidos es inestable perdiéndose en forma gaseosa.
- los microorganismos del suelo utilizan más rápidamente como fuente de nitrógeno al amonio que al nitrato.
- hay una interacción importante entre los dos primeros hechos, ya que al lavarse los nitratos hacia zonas más profundas del suelo, encuentran condiciones anaerobias donde son rápidamente denitrificados.

ii) Textura del suelo: En suelos con gran proporción de fracciones finas se observan incrementos en las recuperaciones de N por los vegetales y en los balances de este elemento, al disminuir las posibilidades de lavado a pesar de que se aumentan los riesgos de denitrificación. En definitiva habrá que determinar cuáles de los factores de pérdidas de nitrógeno son más importantes y en qué condiciones se minimizan las mismas.

iii) Contenido de humedad del suelo: En parte fue discutido en i) y ii) en lo referente a lavado y denitrificación. En el único caso en el cual elevados niveles de humedad tienen un importante efecto benéfico sobre la recuperación por los vegetales del N-fertilizante, es en el cultivo del arroz fertilizado con nitrógeno amoniacal ya que se reduce la denitrificación — pues se entretiene o imposibilita la nitrificación como consecuencia de bajas tensiones de oxígeno.

iv) Agregado de restos vegetales: Cuando se agregan fertilizantes nitrogenados conjuntamente con paja suelen obtenerse valores superiores de balance a pesar de que los cultivos recuperan menos nitrógeno. Esto se debe a una mayor inmovilización en el suelo.

v) Efecto de los cultivos: La presencia de cultivos comparando con barbecho desnudo así como la presencia de vegetales con sistema radicular denso, dan como resultado mayores recuperaciones en el sistema suelo-planta debido a:

- mayor absorción por el vegetal.
- supresión o entretencimiento de la nitrificación por aumento de la concentración de CO_2 , o efecto perjudicial a nivel rizosférico.
- otro mecanismo por el cual se obtienen mejores balances es por incorporación del fertilizante nitrogenado en la materia orgánica — del suelo por humificación de los restos vegetales (Woldendorp, 1963).

III. Materiales y Métodos.

El ensayo fue realizado en invernáculo, sobre un diseño en parcelas al azar, donde las variables fueron suelos y fertilización nitrogenada. Los suelos empleados en el presente trabajo fueron los siguientes:

- suelo sobre limas de la Formación Fray Bentos (Departamento de Paysandú)
- suelo sobre areniscas Cretáceas (Departamento de Paysandú)
- suelo sobre una transición lavas del Arapey-Formación Salto.

Las características de los suelos se presentan en la tabla I.

La fertilización nitrogenada consistió en los siguientes tratamientos:

- sin fertilizar (testigo)
- 30 ppm. de nitrógeno como urea
- 30 ppm. de nitrógeno como sulfato de amonio

Cada uno de los tratamientos del experimento se hizo con cuatro repeticiones, lo cual da un total de 36 macetas.

Tabla I. Características físicas y químicas de los suelos.

suelo sobre	arena (%)	limo (%)	arcilla (%)	pH	materia orgánica (%)	N _t (%)	C/N	CIC*
1) Cretáceo								
(franco arenoso)	79.1	10.2	10.7	5.5	2.15	0.14	8.9	6.25
2) Fray Bentos								
(franco arcilloso)	36.2	29.5	34.3	6.4	5.21	0.28	10.8	25.65
3) transición								
(franco arcillo arenoso)	65.3	14.4	20.3	5.3	4.65	0.22	12.3	17.55

* CIC expresada en meq./100 g. de suelo

El análisis mecánico fue realizado por el método internacional de la pipeta; el porcentaje de materia orgánica se calculó por el método de Walkley-Black (Jackson, 1964), multiplicando el porcentaje de carbono por 1.724. El pH fue determinado con pHmetro Beckman Zeromatic en mezcla suelo-agua = 1:2.5. El N total fue determinado por el método de Kjeldahl con ácido salicílico para incluir nitratos (Bremner, 1965). La Capacidad de Intercambio Catiónico fue determinada por percolación con solución normal de acetato de amonio a pH 7, alcohol, cloruro de sodio, según Cátedra de Fert. y Fert. (1966, repartido mimeografiado).

También se efectuó dete rminación de las arcillas por Análisis Térmico Diferencial, en los tres suelos. Los resultados son los siguientes:

suelo sobre	arcillas
Cretáceo	glaucenia y montmorillonita
Fray Bentos	glaucenia y montmorillonita
transición	glaucenia

Se emplearon los horizontes 0-20 cm. que luego de extraídos fueron secados al aire y tamizados a 2 mm. El experimento se realizó en el invernáculo en macetas de plástico con aproximadamente 900 g. de suelo seco en cada una. El fertilizante se agregó en solución, distribuyéndolo en la superficie del suelo; luego se plantaron 12 semillas ya germinadas y el suelo se llevó a capacidad de campo. También se agregaron 0.2 g. de K_2HPO_4 - por maceta como fertilización basal. El vegetal fue *Sorghum sudanense* - (sudangrass). La pérdida de humedad fue corregida diariamente por diferencia de peso y restablecida con agua corriente en caso necesario.

Se efectuaron tres cortes al vegetal, los dos primeros cuando las plantas sobrepasaron los 30 cm. de altura y el último cuando alguna planta floreció; o sea a los 40, 58 y 96 días desde la plantación respectivamente.

El material vegetal obtenido en los cortes fue secado en estufa a 60°C durante 4-5 días y luego analizado determinándose nitrógeno total incluyendo nitratos.

Con los datos de los cortes se calculó el porcentaje de recuperación del nitrógeno agregado mediante la siguiente fórmula:

$$N \text{ recuperado (\%)} = \frac{(N \text{ total absorbido} - N \text{ total absorbido en testigo}) \times 100}{N \text{ total aplicado}}$$

IV. Resultados y Discusión.

Los datos de materia seca y nitrógeno absorbido por el vegetal se presentan en la tabla III. Es necesario destacar que al comienzo del ensayo hubo gran pérdida de plántulas debido presumiblemente a escasa humedad. Las macetas fueron replantadas en la medida que fue necesario.

Puede observarse en la Tabla III que la producción de materia seca por maceta fue mayor en el suelo sobre Fray Bentos, intermedia en el N° 3 y menor en el Cretáceo. También puede apreciarse que hubo una disminución general en el rendimiento de materia seca en el segundo corte con respecto al primero y que el rendimiento mayor se obtuvo con el tercer corte, debido al mayor tiempo transcurrido.

Resultados similares se obtuvieron con la absorción de nitrógeno por el vegetal excepto en los suelos sobre Cretáceo y en el N° 3 tratados con urea y sulfato de amonio en donde el aumento en la absorción de nitrógeno no llegó a sobrepasar los valores determinados para el primer corte. Es decir, en esos cuatro casos el incremento en el rendimiento vegetal no fue acompañado por una mayor absorción de nitrógeno.

En la Tabla IV se presenta la recuperación del nitrógeno agregado calculado como la suma de los tres cortes.

Tabla IV. Porcentaje de recuperación total (suma de los tres cortes).

Tratamiento	suelos		
	Fray Bentos	N°3	Cretáceo
UREA	46.54	81.21	91.79
SULFATO DE AMONIO	43.70	73.74	95.68

En base a los resultados obtenidos se efectuó análisis de variancia por prueba F del nitrógeno absorbido en el primer corte y en la suma de los tres. El primer corte fue elegido por entenderse que se detectarían allí los principales efectos biológicos.

El estudio de la interacción suelos x fertilizantes, indica que la misma no es significativa ni en el primer corte ni en la suma de los tres. Dado que en un análisis primario en que se testó el F para interacción

éste no fue significativo, se reelaboró el análisis de variancia por el siguiente:

Tabla V. Análisis de variancia (primer corte)

Fuente	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F _{obs.}	F _{5%}	F _{1%}
fertilizantes	1850.60	2	925.30	101.40		
suelos	2.48	2	1.24	0.13	3.33	5.42
error	264.62	29	9.12			

Puede observarse que tanto al nivel 5% como al 1% hay diferencias significativas entre fertilizantes y no hay diferencias entre suelos.

A continuación se observan los resultados de la prueba t en fertilizantes:

Tabla VI.

	t observado	t de tablas 5%	1%
urea-testigo	12.29	2.080	2.831
urea-(NH ₄) ₂ SO ₄	1.14	2.086	2.845
(NH ₄) ₂ SO ₄ -testigo	11.13	2.080	2.845

La prueba t permite observar que no existen diferencias significativas entre los dos fertilizantes empleados, pero sí entre los fertilizantes y los testigos sin aporte de nitrógeno.

Tabla VII. Análisis de variancia (suma de los tres cortes)

Fuente	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrados medios	F _{obs.}	F _{5%}	F _{1%}
fertilizantes	2773.04	2	1386.52	17.35		
suelos	1554.16	2	777.08	9.72	3.33	5.42
error	2317.28	29	79.90			

Con ambos niveles de significancia existen diferencias tanto entre fertilizantes como entre suelos.

Tabla III. Rendimiento de materia seca y toma de nitrógeno en la parte aérea del cultivo.

tratamiento nitrogenado	suelo				sobra							
	Fray Bentos				Transición (N23)				Cretáceo			
					<u>parte</u>							
	1ª	2ª	3ª	total	1ª	2ª	3ª	total	1ª	2ª	3ª	total
testigo	1.63	1.36	5.76	8.75	1.21	1.04	3.49	5.74	0.81	0.66	2.11	3.58
urea	2.85	1.34	4.93	9.12	3.08	1.13	3.45	7.66	1.41	0.88	2.54	4.83
sulfato de amonio	2.68	1.47	5.62	9.77	2.85	1.19	3.74	7.76	1.32	0.83	2.50	4.65

g. de materia seca/maceta.

mg. de N/maceta absorbidos por sudangrass

testigo	23.60	12.53	29.49	55.62	10.29	8.80	15.99	35.08	10.17	7.91	16.38	34.46
urea	26.90	12.11	28.57	67.58	27.58	11.92	16.45	55.95	28.10	11.71	18.24	58.05
sulfato de amonio	24.43	14.49	27.93	66.85	25.27	11.21	18.05	54.53	26.41	12.01	20.63	59.05

datos promedio de 4 repeticiones

En la Tabla VIII se observan los resultados de la prueba t.

Tabla VIII

	t observada	t de tablas	
		5%	1%
urea-testigo	5.10	2.080	2.831
urea-(NH ₄) ₂ SO ₄	0.026	2.086	2.845
(NH ₄) ₂ SO ₄ -testigo	5.07	2.080	2.831

F.Bentos-suelo N° 3	4.29	2.080	2.831
F.Bentos-Cretáceo	3.45	2.080	2.831
Cretáceo-suelo N° 3	0.82	2.086	2.845

Los resultados de la prueba t indican que con ambos niveles de significancia no existen diferencias entre los dos fertilizantes en estudio y sí entre ambos y el testigo. En el caso de los suelos puede observarse que la absorción de nitrógeno fue mayor en el suelo sobre la formación Fray Bentes y que dicha absorción no fue significativamente distinta entre los suelos sobre Cretáceo y el N° 3.

De los datos de la tabla III surge que la absorción de nitrógeno por sudangrass en los tratamientos sin fertilizar, siguió el orden de contenido de N total de los suelos; para Fray Bentes, Suelo N° 3 y Cretáceo dichos valores fueron 55.62, 35.08 y 34.46 mg. N/maceta respectivamente. Allison y Sterling (1949) en un experimento cuya finalidad era determinar en qué medida la formación de nitratos puede ser usado como medida de la disponibilidad de nitrógeno en la materia orgánica del suelo, llegan a la siguiente conclusión:

"La formación de nitrato a partir de la materia orgánica estuvo directamente correlacionada con el contenido de N total del suelo en todos los períodos de incubación tanto en suelos enclavados como no enclavados". El valor del coeficiente de correlación entre nitratos producidos y % de N total en suelos no enclavados fue 0.809, mientras que en suelos enclavados fue 0.766. Haas et al. (1957) determinaron la misma relación, que tuvo un valor de $r = 0.562$ (significativo al 1%). En el presente ensayo es interesante destacar que las diferencias de absorción de nitrógeno por el ve-

getal en los suelos sobre Cretáceo y suelo N° 3 sin aporte de N, fue muy pequeña, 0.62 mg. de N/maceta a favor del último, mientras que las diferencias entre los suelos anteriores con respecto al Fray Bentes fueron 21.16 y 20.54 mg. respectivamente. Los valores mayores encontrados en el suelo franco arcilloso sobre Fray Bentes pueden ser explicados por su mayor contenido de materia orgánica y por ende mayor % de N total, así como pH más elevado, lo que favorece los procesos de amonificación y nitrificación. Por la diferencia entre los otros suelos no puede explicarse en base a las características citadas, ya que la diferencia de pH es mínima, mientras que si se observan los valores de contenido de materia orgánica en el suelo N°3 duplica en porcentaje al suelo sobre Cretáceo y tiene un contenido de N 1/2 término con respecto a los otros dos.

En la tabla IX se observan los valores de recuperación de las dos fuentes de N empleado en los tres suelos. Dichos valores fueron calculados por el método de diferencia mediante la fórmula expuesta anteriormente. Los resultados indican que el porcentaje de recuperación disminuye a medida que se aumenta el N° de cortes, excepto un leve incremento en la recuperación del N proveniente del sulfato de amonio en el suelo sobre Cretáceo. En general manteniendo constante la fuente de N, los porcentajes de recuperación obedecieron al siguiente orden:

UREA Cretáceo > Suelo N°3 > Fray Bentes

SULFATO
DE AMONIO Cretáceo > Suelo N°3 > Fray Bentes

El análisis estadístico efectuado con los resultados de la tabla III permiten extraer las siguientes conclusiones de la recuperación del nitrógeno:

- (i) En el primer corte, la recuperación del nitrógeno agregado como urea o sulfato de amonio no difiere significativamente, y tampoco hay diferencias entre los suelos.
- (ii) La recuperación del nitrógeno agregado calculada en base a la suma de los tres cortes indica que no hay diferencias significativas entre los dos fertilizantes empleados y sí entre los suelos, siendo superiores los suelos N° 3 y sobre Cretáceo con respecto al suelo sobre F. Bentes. No hay diferencias significativas entre los suelos N°3 y sobre Cretáceo.

Tabla IX. Recuperación del nitrógeno agregado (%).

suelo	N-fertilizante	corte N°		
		1º	2º	3º
sobre F. Bentos	urea	51.75	0	0
	sulfato de amonio	42.14	7.63	0
Nº 3	urea	67.28	12.14	1.79
	sulfato de amonio	58.29	9.38	8.02
sobre Cretáceo	urea	69.77	14.79	7.24
	ulfato de amonio	63.19	15.95	16.54

Los valores de recuperación del nitrógeno estuvieron en relación inversa al contenido de nitrógeno total, materia orgánica del suelo y capacidad de intercambio catiónico. Esto es lógico en base a lo discutido anteriormente; es decir, si el suelo tiene bajo contenido de nitrógeno, también habrá menor producción de nitrógeno mineral y en la medida que se aparte nitrógeno como fertilizante, el vegetal absorberá una mayor proporción del nutriente proveniente de la segunda fuente y se obtendrán valores mayores de recuperación. Lo contrario ocurre en el caso que el suelo tenga un factor capacidad muy elevado, ya que el vegetal utiliza una mayor proporción del N proveniente de la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo. Resultados similares fueron obtenidos por Simpson y Freney (1967) quienes determinaron que el mayor incremento en la absorción de nitrógeno por las plantas luego del agregado de N^{15} a suelos de diferente contenido de materia orgánica, fue obtenido en el suelo con bajo contenido de nitrógeno total (85 y 81% de recuperación para amonio y nitrato respectivamente). También determinaron que la más alta recuperación de N^{15} por el vegetal ocurrió cuando se agregó nitrato a los suelos de contenido bajo e intermedio de N (ambos 80% de recuperación).

En general de acuerdo con Allison (1966), puede decirse que a niveles muy bajos de nitrógeno en el suelo, un alto porcentaje del N que es continuamente mineralizado, es inmovilizado por los microorganismos en la descomposición de la masa de pelos radiculares y otros restos vegetales que se forman constantemente. El resultado es que la parte aérea y las raíces tienen un bajo contenido de nitrógeno, lo cual en el método de diferencia lleva a valores elevados de recuperación cuando se sustraen los valores bajos del testigo al tratamiento nitrogenado. Si la adición de N es baja, mucho del nitrógeno agregado puede ser inmovilizado y esto generalmente da como resultado bajos valores de recuperación aún cuando los valores de los testigos sean también bajos. A medida que el fertilizante se incrementa, un mayor porcentaje de ese nitrógeno es asimilado por el cultivo, más que por los microorganismos, y los valores de recuperación por el método de diferencia son mayores.

Devine y Holmes (1963) determinaron que en aplicaciones de urea y sulfato de amonio a dosis de 30 y 60 lb. de N/acre, la recuperación de N-urea fue en general menor que la correspondiente a sulfato de amonio. Dichos autores suponen que esta menor recuperación fue debida a volatilización como amonio.

La menor recuperación en el suelo sobre Fray Bentos podría explicarse por fijación de amonio en los minerales arcillosos ya que este suelo contiene 34.3% de fracción menor a 0.002 mm. de diámetro. Esta menor recuperación por fijación del amonio puede haberse incrementado por bloqueo del potasio agregado en la fertilización basal que fue excesiva (0.2 g. de K_2HPO_4 /maceta) ya que, como lo determinaron Welch y Scott (1960), el potasio interfiere en la nitrificación del amonio fijado en las arcillas minerales.

Otra explicación posible para la menor recuperación en el suelo sobre Fray Bentos sería la dada por Grable y Johnsen (1960) al determinar que la recuperación del nitrógeno disminuiría al incrementarse el contenido de arcilla, y sugieren que la menor difusión de oxígeno en los suelos arcillosos favorece la denitrificación biológica.

V. Conclusiones.

De los resultados correspondientes a la recuperación del nitrógeno agregado como fertilizantes, se concluye que:

- (i) No hubo interacción significativa entre suelos y fertilizantes.
- (ii) En el primer corte, la recuperación del N-urea y N-sulfato de amonio no difieren significativamente, así como tampoco hay diferencias significativas entre los suelos.
- (iii) En la recuperación total del nitrógeno agregado, no hubieron diferencias significativas entre ambos fertilizantes. La recuperación total fue significativamente superior en los suelos sobre Cretáceo y N° 3 con respecto al Bray Bontes, no habiendo diferencias entre los dos primeros, en términos estadísticos. La mayor recuperación estuvo asociada a un mayor contenido de nitrógeno total de los suelos así como de materia orgánica.

upiganti Picardi de alallore
Lilleau piau

VI. Bibliografia.

- 1) ALLISON, F.E. (1955) The enigma of soil balance sheets. Adv. Agron. 7: 213-250
- 2) ALLISON, F.E. (1965) Evaluation of incoming and outgoing processes that affect soil nitrogen. En Soil Nitrogen, Agronomy N° 10, pp. 573-606.
- 3) ALLISON, F.E. (1966) The fate of nitrogen applied to soils. Adv. Agron. 18: 219-258.
- 4) ALLISON, F.E. and STERLING, L.D. (1949) Nitrate formation from soil organic matter in relation to total nitrogen and cropping practices. Soil Science 67: 239-252.
- 5) ANDREEVA, E.A. and SCHEGLOVA, G.M. (1968) Uptake of soil nitrogen on application of nitrogen fertilizers and nitrification inhibitors as revealed by greenhouse pot experiments using N¹⁵. 9th. Intern. Congress of Soil Sci., Adelaide, Australia, Vol. II, pp.523-532.
- 6) BADZHOV, K. and IKONOMOVA, E. (1969) ¹⁵N for studying nitrogen transformations in soil, nitrogen nutrition of plants, and in assessing available nitrogen in soil. En "N-15 in soil-plant studies". FAO/IAEA (1971), Vienna.
- 7) BREMNER, J.M. (1965) Total Nitrogen. En "Methods os soil analysis" Part 2. Black, C.A. (editor). Agronomy N° 9, Madison, Wisconsin, USA
- 8) BROADBENT, F.E. and NAKASHIMA, T. (1965) Plant recovery of immobilized nitrogen in greenhouse experiments. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29(1): 55-60.
- 9) BROADBENT, F.E. and TYLER, K.B. (1962) Laboratory and greenhouse investigations of nitrogen immobilization. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 459-462.
- 10) CARTER, J.N.; HENNETT, O.L. and PEARSON, R.W. (1967) Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31(1): 50-56.
- 11) DEVINE, J.R. and HOLMES, M.R.J. (1963) Field experiments comparing ammonium nitrate, ammonium sulphate and urea applied repetitively to grassland. Jour. Agric. Sci. 60: 297-304.
- 12) DILZ, K. and WOLDENDORP, J.W. (1960) Distribution and nitrogen balance of ¹⁵N-labelled nitrate applied on grass sods. Proc. 8th. Intern. Grassland Cong. pp. 150-153.
- 13) GRABLE, A.R. and JOHNSON, D.D. (1960) Efficiency of recovery of applied nitrate nitrogen by perennial ryegrass from different soils Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 503-507.
- 14) HAAS, H.J.; EVANS, C.E. and MILES, E.F. (1957) Nitrogen and carbon changes in great plains soils as influenced by cropping and soil treatments. USDA Tech. Bull. N°1164.
- 15) HAUCK, R.D. (1969) Quantitative estimates of nitrogen-cycle processes. En "N¹⁵ in soil-plant studies". FAO/IAEA, (1971), Vienna.
- 16) JAKSON (1964) Análisis químico de suebs. Edit. Omega. Barcelona.

- 17) KUNDLER, P. (1970) Utilization, fixation and loss of fertilizer nitrogen. *Albracht-Thaer-Archiv*, 14. Band, Heft 3. pp. 191-210
- 18) MEGUSAR, F. (1968) The depressing effect on mineralization caused by the addition of mineral nitrogen to soil. IAEA, Vienna.
- 19) MYERS, R.J.M. and PAUL, E.A. (1969) Plant uptake and immobilization of ^{15}N -labelled ammonium nitrate in a field experiment with wheat. In " N^{15} in soil-plant studies". FAO/IAEA, Vienna, 1971.
- 20) SAPOZHNIKOV, N.A.; WESTEROVA, E.I.; RUSINOVA, I.P.; SIRDTA, L.B. and LIVANOVA, T. (1968) The effect of fertilizer nitrogen on plant uptake of nitrogen from different podzolic soils. 9th. Intern. Congress of Soil Sci., Adelaide, Australia. Vol. II, pp. 467-474.
- 21) SIMPSON, J.R. and PRENEY, J.R. (1967) The fate of labelled mineral nitrogen after addition to three pasture soils of different organic matter contents. *Aust. J. Agric. Res.* 18: 613-623.
- 22) VIETS, R.G. (1960) Recovery of fertilizer nitrogen on irrigated and dryland soils of the western United States. 7th Intern. Congress of Soil Sci., Madison, Wisc., U.S.A. pp. 486-493.
- 23) WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. and ORCHISTON, H.D. (1956) Fate of labelled nitrate and ammonium nitrogen when applied to grass and clover grown separately and together. *Soil Science* 81(5): 339-351.
- 24) WELCH, L.F. and SCOTT, A.D. (1960) Nitrification of fixed ammonium in clay minerals as affected by added potassium. *Soil Science* 90: 79-85.
- 25) WESTERMAN, R.L. and KURTZ, L.T. and HAUCK, R.D. (1972) Recovery of ^{15}N -labelled fertilizers in field experiments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 82-86.
- 26) WHITEHEAD, D.C. (1970) The role of nitrogen in grassland productivity. *Com. Agric. Bureaux, Bull.* 48.
- 27) WOLDENDORP, J.W. (1963) The influence of living plants on denitrification. Ph.D. Thesis. pp. 1-100. Wageningen, Nederland.
- 28) ZAMYATINA, V.B.; BORISOVA, N.I.; VARYUSHKINA, N.M.; BURTZEVA, V.B. and KIRPANEVA, L.I. (1968) Investigations on the balance and use of ^{15}N tagged fertilizer nitrogen by plants in soils. 9th. Intern. Congress of Soil Sci., Adelaide, Australia, Vol. II, pp. 513-521.