

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



EFFECTO DEL AZUFRE SOBRE LA NITRIFICACION  
DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS  
EN SUELOS DE MARIN, N. L.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA

RAMON DIAZ HERNANDEZ

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 1991

T

S651

D5

c.1



1080061794

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



EFECTO DEL AZUFRE SOBRE LA NITRIFICACION  
DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS  
EN SUELOS DE MARIN, N. L.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA

RAMON DIAZ HERNANDEZ

MARIN, N. L.

OCTUBRE DE 1991

10811 e

T  
S651  
D5



040-631

FA7

1991

C.5

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**EFECTO DEL AZUFRE SOBRE LA NITRIFICACION  
DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS  
EN SUELOS DE MARIN N.L.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**

**PRESENTA**

**RAMON DIAZ HERNANDEZ**

**MARIN, N.L**

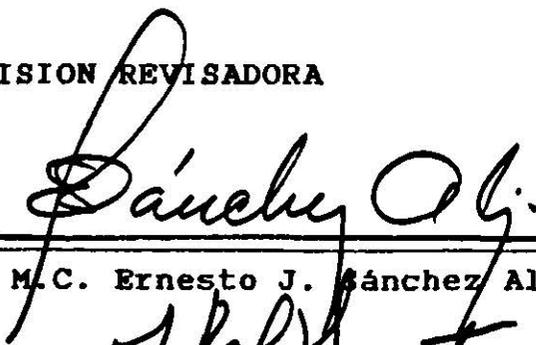
**OCTUBRE DE 1991**

EFFECTO DEL AZUFRE SOBRE LA NITRIFICACION  
DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS  
EN SUELOS DE MARIN, N.L.

ESTA TESIS FUE REALIZADA EN EL PROYECTO DE FERTILIZACION  
ESTATAL EN LA LINEA FERTILIZACION ORGANICA E INORGANICA  
Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO  
DE INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA.

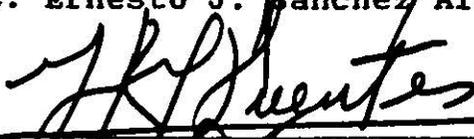
COMISION REVISADORA

Asesor Principal:



M.C. Ernesto J. Sánchez Alejo.

Asesor Auxiliar:



M.Sc. Humberto Rodríguez Fuentes.

Asesor Auxiliar:



M.Sc. José E. Treviño Ramírez.

**A Dios:**

**Gracias te doy señor por haberme dado  
la gracia de terminar lo que un día  
permitiste que comenzara.**

## DEDICATORIAS

A la memoria de mi madre:

Sra. Esperanza Hernández de Díaz (Q.E.P.D)  
A quien le debo la vida y con sus des-  
desvelos y sacrificios se esforzó para  
no truncar mi carrera, dándome el apo-  
yo cuanto lo necesité y así otorgarme  
la herencia más grande que se puede --  
desear; mi educación.

Aún vives en mi.

A mi padre: Sr. Julio Díaz Ramírez  
A quien con su apoyo, esfuerzos y -  
sacrificios logró que llegara a la  
culminación de mi carrera. Que esto  
sea un pequeño reconocimiento de --  
todo lo que se merece.

A todos mis hermanos y muy especialmente a:

Soledad

María Auxiliadora

Julio

Martín

y José

Con mucho cariño para ellos, quienes en todo momento me  
dieron su apoyo, impulsándome siempre a seguir adelante du---  
rante el transcurso de mi carrera.

A mis sobrinos:

Luz Isabel

Gustavo

María de la Luz

y Fátima.

Quienes a cada momento alegran mi  
corazón con una pequeña sonrisa.

A mi cuñado: José Delgadillo Estrada.

Por su apoyo moral y económico durante mi -  
carrera.

**A la familia: Albalate y de Alba.**

**Sr. Arq. Helios Albalate Olaria  
Sra. Rosángela de Alba de Albalate  
Juan Fernando Albalate y de Alba  
Patricio E. Albalate y de Alba  
Pedro Alonso Albalate y de Alba**

**A quienes agradezco su hospitalidad, su cariño y apoyo -  
incondicional, tanto económico como moral que me brinda-  
ron en todo momento. Además, por hacer de su casa mi ---  
propio hogar.**

**Nunca los olvidaré.**

**A mis amigos de siempre:**

**Juan Antonio T. F., Juan Fernando A.  
y de A., José Luis P. Ch., Raúl M. D., J. de Jesús S. M., ---  
Fernando O. G., Gabriel Acosta., Andrés V. S. A., Fco. Javier  
P. A., Taurino M. T., José C. G. L., Emilio J. C., Joel L. R.  
Roberto M. M., Ramiro P. Z., Martín A. Z., José A. de la R. -  
E., Agustín L. V., Casimiro G. P., Rito P. M., Felipe T. R.,  
Manuel J. M., Gilberto S. O., Eduardo Fraga., J. Antonio G. -  
M., Jesús Benavides., Emilio C. P., Bernabé Varela. M., Juan  
Pastor C. S., Ismael A. H., Saúl G. B., Agustín Zúñiga., Leo-  
nardo T. F. Ernesto C. B., Antonio Z. C.**

**A mis amigas:**

**Virginia V. H., Magdalena C. B., Elisa de la P.  
S., Lucrecia C. P., María Elena M. H., Rocío M. de la G. H.,  
Angeles Ramirez., Alejandra de M., Verónica Y. de Ch., Ange-  
lica P. M.**

**A todos ellos por su amistad, gracias.**

**Nunca los olvidaré.**

## AGRADECIMIENTOS

- Al M.C. Ernesto J. Sánchez Alejo.  
Por su asesoramiento y valioso apoyo brindado para la realización de este trabajo.
- Al M.Sc. Humberto Rodríguez Fuentes.  
Por sus acertadas sugerencias en la revisión del --- presente escrito.
- Al M.Sc. José Elías Treviño Ramírez.  
Por su valiosa colaboración en la revisión del pre-- sente escrito.
- Al M.C. Nahum Espinoza Moreno.  
Por su disponibilidad en la asesoría del análisis estadístico.
- A la: Lic. María de la Luz Gonzalez López.  
Por su amistad y disponibilidad en la asesoría del análisis estadístico.
- Al Ing. Rogelio Salinas Rodríguez.  
Por su amistad, sus consejos y valiosa ayuda en la -- realización de este trabajo.
- Al P h.D. Rigoberto Vázquez Alvarado.  
Por su amistad y valiosa ayuda prestada en la realización de este trabajo.
- Al M.C. Leonel Romero Herrera.  
Por su amistad en el transcurso de mi carrera.
- Al Ing. José Fco. Uresti Salazar.  
Por la ayuda prestada en la elaboración de este tra-- bajo.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente hicieron posible la realización de este trabajo.

A todos Gracias.

## CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS .....	i
INDICE DEL APENDICE .....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS .....	vi
RESUMEN .....	vii
SUMMARY .....	x
1. INTRODUCCION .....	1
2. OBJETIVOS E HIPOTESIS .....	3
2.1. Objetivo .....	3
2.2. Hipótesis .....	3
3. REVISION DE LITERATURA .....	4
3.1. Hidrólisis de la urea .....	4
3.1.1. Transformación de la urea durante la Hidrólisis .....	4
3.1.2. Actividad de la ureasa .....	6
3.1.2.1. Factores que afectan la actividad de la ureasa ....	7
3.1.3. Factores que afectan la hidrólisis de la urea .....	7
3.1.3.1. Temperatura del suelo ....	7
3.1.3.2. Dosis de urea aplicada ....	7
3.1.3.3. pH del suelo .....	8
3.1.3.4. Contenido de carbón orgá-- nico .....	9
3.1.3.5. Contenido de CaCO <sub>3</sub> .....	9
3.1.3.6. Textura del suelo .....	10
3.1.3.7. Velocidad de la hidrólisis de la urea .....	11
3.1.4. Factores que modifican la hidrólisis de la urea .....	12
3.1.4.1. Método de aplicación .....	12
3.1.4.2. La acumulación del amonio de la urea .....	13
3.1.4.3. Volatilización del amoniaco de la urea .....	13
3.1.5. Nitrificación de la urea .....	14
3.1.6. Algunos trabajos realizados con la a- plicación de azufre .....	14
3.2. Mineralización del Nitrógeno .....	15
3.2.1. El proceso de la mineralización .....	15

3.2.2.	Factores que afectan la Nitrificación .....	16
3.2.2.1.	Temperatura del suelo .....	16
3.2.2.2.	El pH del suelo .....	17
3.2.2.3.	Tiempo de incubación .....	18
3.2.2.4.	Concentración del sustrato.	19
3.2.2.5.	Contenido de humedad .....	19
3.2.2.6.	Profundidad del suelo .....	21
3.2.2.7.	Aplicación del fertilizante	21
3.2.3.	Factores que promueven la Nitrificación .....	22
3.2.4.	Inhibidores de la nitrificación .....	22
3.2.5.	Inmovilización del Nitrógeno .....	23
3.2.6.	Velocidad de Nitrificación .....	23
4.	MATERIALES Y METODOS .....	25
4.1.	Descripción de la zona de estudio .....	25
4.1.1.	Localización .....	25
4.1.2.	Clima .....	25
4.1.3.	Geología .....	25
4.1.4.	Suelos .....	26
4.2.	Selección de los sitios experimentales .....	26
4.3.	Muestreo de los suelos .....	26
4.4.	Establecimiento del experimento .....	27
4.4.1.	Hidrólisis de la urea .....	29
4.4.2.	Nitrificación de los fertilizantes ..	30
4.5.	Análisis estadístico .....	32
5.	RESULTADOS Y DISCUSION .....	33
5.1.	Hidrólisis de la urea .....	33
5.1.1.	pH .....	33
5.1.2.	Conductividad eléctrica .....	37
5.1.3.	Producción de amonio .....	41
5.2.	Nitrificación de los fertilizantes .....	46
5.2.1.	pH .....	46
5.2.2.	Conductividad eléctrica .....	48
5.2.3.	Comportamiento del amonio .....	52
5.2.4.	Producción de nitratos .....	57
6.	CONCLUSIONES .....	66
7.	RECOMENDACIONES .....	68
8.	BIBLIOGRAFIA .....	69
9.	APENDICE .....	78

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO		PAGINA
1	Descripción de cada uno de los tratamientos probados en el estudio del efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes.....	28
2	Cambios de pH y CE registrados en los suelos durante la hidrólisis de la urea y la nitrificación de urea, sulfato y nitrato de amonio, a través de los 4, 8 y 16 días después de la aplicación .....	34
3	Resultados promedio de amonio y nitratos (ppm) encontrados durante la hidrólisis de la urea a los 4, 8 y 16 días después de la aplicación.....	47
4	Resultados promedio de amonio y nitratos (ppm) encontrados durante la nitrificación del sulfato y nitrato de amonio a los 4, 8 y 16 días después de la aplicación .....	53

### FIGURA

- 1 Cambios de pH registrados durante el comportamiento de los tratamientos testigo (a) y durante la hidrólisis de la urea (b), para observar el -

	efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, - N.L. ....	35
2	Cambios de CE registrados en los tratamientos -- testigo (a) y los tratamientos que contenían urea (b), durante la hidrólisis y nitrificación de la urea, en el estudio para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L...	39
3	Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 1 y 2 a los 4, 8 y 16 días después de incubado el nitrógeno fertilizante.....	42
4	Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 3 y 4 a los 4, 8 y 16 días durante la hidrólisis y nitrificación de la urea.....	43
5	Cambios de pH registrados durante la nitrificación del sulfato de amonio (c) y nitrato de amonio (d), para tratar de observar el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.....	49

6	Cambios de CE registrados durante la nitrificación del sulfato de amonio (c) y nitrato de amonio (d), en el estudio para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L...	50
7	Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 5 y 6 a los 4, 8 y 16 días durante la nitrificación del sulfato de amonio.....	54
8	Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 7 y 8 a los 4, 8 y 16 días durante la nitrificación del nitrato de amonio.....	55
9	Amonio acumulado por las tres fuentes nitrogenadas durante el experimento para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de las mismas en suelos de Marín, N.L.....	64
10	Nitrato acumulado por las tres fuentes nitrogenadas durante el experimento para conocer el efecto del azufre sobre las mismas en suelos de Marín, N.L.....	64

## INDICE DEL APENDICE

CUADRO	PAGINA
5A Comparación de medias encontradas para la variable pH en las diferentes fuentes de nitrógeno a los 4 días, bajo un arreglo factorial 3X2.....	79
6A Resumen de los resultados del análisis de varianza considerando la estructura factorial de los tratamientos en el experimento para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.....	79
7A Resumen de las comparaciones ortogonales efectuadas en el experimento para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L...	80
8A Comparación de medias encontradas para la variable CE en las diferentes fuentes de nitrógeno a los 4 y 8 días, bajo un arreglo factorial 3X2...	80
9A Comparación de medias encontradas para la variable amonio en las diferentes fuentes de nitrógeno a los 4, 8 y 16 días, bajo un arreglo facto--	

rial 3X2.....	81
10A Algunas propiedades fundamentales de la urea, -- nitrato de amonio y sulfato de amonio (Primo, -- Y.E. y Carrasco, D.J.M. 1973. Química Agrícola), citado por Castro Z.R 1978. ....	82
11A Comparación de medias encontradas para la varia- ble nitratos en las diferentes fuentes de nitró- geno a los 8 y 16 días, bajo un arreglo facto -- rial 3X2.....	83
12A Resultados del análisis de varianza efectuado -- entre las diferentes fuentes fertilizantes (u -- rea, sulfato y nitrato de amonio) con y sin la - aplicación de azufre.....	83
13A Marcha a seguir para la determinación del nitró- geno por el método arrastre de vapor.....	84

**FIGURA**

11A Esquema que representa el equipo utilizado para- la determinación del nitrógeno por arrastre de - vapor; en el estudio para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizan- tes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.....	87
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\text{NH}_4^+$	.....	Amonio
$\text{NH}_3$	.....	Amoniaco
$\text{HNO}_2$	.....	Acido nitroso
$\text{HNO}_3$	.....	Acido nitrico
$(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$	.....	Carbonato de amonio
$\text{KClO}_2$	.....	Cloruro de potasio
$^\circ\text{C}$	.....	Grados centigrados
g	.....	Gramos
$\mu\text{g}$	.....	Micro gramos
$\text{NH}_4\text{OH}$	.....	Hidróxido de amonio
$\mu\text{g}/\text{cm}^3$	.....	Microgramos por centímetro cúbico
$\mu\text{g urea}/\text{cm}^3$	.....	Microgramos de urea por centímetro cúbico
mg	.....	Miligramos
$\text{NO}_3^-$	.....	Nitratos
$\text{NO}_2^-$	.....	Nitritos
N/g	.....	Nitrógeno por gramo suelo
N.A	.....	Nitrato de amonio
ppm	.....	Partes por millon
S.A	.....	Sulfato de amonio
$\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$	.....	Urea

## RESUMEN

**Palabras clave:** Hidrólisis de la urea, nitrificación y suelos calcáreos.

La rápida hidrólisis de la urea provocada por el pH alcalino de los suelos calcáreos de Marín, N.L. es la limitante principal de los cultivos para el aprovechamiento del N fertilizante proveniente de esta fuente.

Una de las medidas para solucionar este problema es la aplicación de azufre para retardar la hidrólisis de la urea.

Otra forma de mejorar el aprovechamiento del N fertilizante en estos suelos es el uso de fertilizantes de residuo ácido tales como el sulfato de amonio y nitrato de amonio principalmente.

El objetivo del presente estudio fué evaluar el efecto del azufre sobre la hidrólisis de la urea y la nitrificación de la misma, así como también del sulfato de amonio y nitrato de amonio bajo condiciones de laboratorio para un suelo característico de Marín, N.L.

El experimento se realizó con un suelo proveniente de la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cuál se seleccionó por su baja respuesta a la fertilización nitrogenada. Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron las instalaciones del Laboratorio de Suelos, Aguas y Plantas de la misma institución.

La hidrólisis de la urea se estudió durante un tiempo de 4, 8 y 16 días, después de aplicar una dosis de 0 y 150  $\mu\text{g}$  de N/g suelo y 0 y 20 meq de S/100 g suelo. Después de lo anterior, se dejó incubar el azufre por un período de 15 días con el fin de permitir la oxidación del mismo. Para la nitrificación de los fertilizantes se utilizaron las mismas dosis de nitrógeno, utilizando como fuentes urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio; también se utilizaron las mismas dosis de azufre ya mencionadas.

En el laboratorio, durante el desarrollo del experimento, el suelo se mantuvo al 80% de su capacidad de campo para su incubación y a temperatura ambiente.

Se encontró que el mayor efecto acidificante fue cuando se aplicaron las fuentes fertilizantes junto con el azufre -- siendo más marcado este sobre el nitrato de amonio; así mismo, se observó que la CE se incrementó cuando se aplicó azufre debido a la oxidación del mismo y a la formación de sales con el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Este efecto acidificante retardó la hidrólisis de la urea de 36 a 96 horas cuando esta se aplicó junto con 20 meq de S/100 g suelo, aumentando con esto la permanencia del  $\text{N-NH}_4^+$  en el suelo. Se observó que en forma general la permanencia del  $\text{NH}_4^+$  fue mayor cuando se aplicó sulfato de amonio mas azufre, siguiendole en forma descendente la urea y el nitrato de amonio, ambos con azufre.

Finalmente, la producción de  $\text{NO}_3^-$  durante la nitrifica--

ción de la urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio fué menor cuando se aplicaron junto con azufre, debido a que el azufre inhibe la formación de  $\text{NO}_3^-$ . Sin embargo, la producción de  $\text{NO}_3^-$  en forma general fué mayor con la urea que con las otras dos fuentes fertilizantes.

## SUMMARY

**Key words.** Urea hydrolysis, nitrification and calcareous soils.

The fast urea hydrolysis caused by the alkaline pH of -- calcareous soils from Marín, N.L. is the main limitation of - crop for the nitrogen fertilizer exploitation coming from this source.

One way to solve this problem is the sulphur application to delay the urea hydrolysis.

Another way to improve the exploitation of the nitrogen - fertilizer in this soils is by using acid residue fertilizers like ammonium nitrate and ammonium sulphate.

The objective of this study was the effect of sulphur --- over the urea hydrolysis and nitrification. The same study -- was leaded for ammonium nitrate and ammonium sulphate under - laboratory conditions for a characteristic soil from Marín, - N.L. México.

This experiment was developed with a soil sample taken - from the Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, experimental station, wich was selected because - of the low response that it presents to the nitrogen fertili- zation. This work were developed in the Laboratory of Soils, Water and Plants from the same institution.

The urea hydrolysis were studied for a period of time of 4, 8 and 16 days after a dose of and 150  $\mu$  of nitrogen/g of -

soil and 0 and 20 meq of sulphur/100 g of soil. After that, - the sulphur were incubating for 15 days to allow the oxida--- tion in the soil. The same nitrogen and sulphur doses were -- used to study the fertilizers nitrification, using urea, -- ammonium nitrate and ammonium sulphate as sources.

The soil studied were maintained at the atmosphere tem-- perature and also at the 80% of the field capacity while the incubation time was passing.

The highest acid efect were those with the fertilizers sources plus sulphur, being stronger the ammonium nitrate ca-- se; moreover, the electric conductivity increased when the -- sulphur were applied because de oxidation of it and the salts formation with the  $\text{CaCO}_3$ .

This acid effect delayed the urea hydrolysis from 36 to 96 hours when the urea were applied with 20 meq of sulphur/-- 100 g of soil, increasing the permanence of  $\text{N-NH}_4^+$  in the --- soil. It was observed that the general permanence of  $\text{NH}_4^+$  we-- re higher when the ammonium sulphate was applied plus sul --- phur, being followed by the urea and ammonium nitrate, both - plus sulphur.

Finally, the  $\text{NO}_3^-$  production while the nitrification of urea, ammonium sulphate and ammonium nitrate were lower when they were applied with sulphur, because the sulphur inhibits the  $\text{NO}_3^-$  formation. However, the  $\text{NO}_3^-$  production in a general way was higher with urea than with the other two sources.

## INTRODUCCION

En las regiones donde predominan los suelos calcáreos, - la producción de alimentos tanto para el hombre como para los animales se ha visto limitada por el poco aprovechamiento que presentan las plantas para el nitrógeno.

El nitrógeno es el elemento esencial que las plantas requieren en una mayor cantidad para su crecimiento; lo cual -- resulta paradójico, ya que este se encuentra disponible para ellas en cantidades muy limitadas en este tipo de suelo.

Para corregir esta deficiencia nutrimental en la región norte del Estado de N.L., se han realizado trabajos de investigación referentes a la determinación de óptimos económicos en dichos suelos.

Sin embargo no se ha logrado este propósito debido a las pérdidas en forma de amoníaco, ocasionadas por la rápida hidrólisis de la urea.

Trabajos realizados por Sánchez A. (1989), demostraron que el limitante principal para los suelos de Marín N.L. es la rápida hidrólisis de la urea ocasionada por el pH alcalino del suelo, el bajo contenido de materia orgánica, los altos contenidos de  $\text{CaCO}_3$ , la textura arcillosa del suelo y la temperatura ambiental.

Así mismo una de las medidas para solucionar el problema es el uso de fertilizantes de residuo ácido como el sulfato de amonio y el nitrato de amonio principalmente, así como me-

didias prácticas para retardar la hidrólisis de la urea.

Una de esas medidas es la aplicación de azufre a suelos calcáreos, el cual tiene la propiedad de reducir el pH alcalino acidificando el suelo, siendo el ácido sulfúrico el encargado de realizar esta función, según Alcalde (1971), citado por Reynoso (1978). De ésta forma al aumentar el azufre la acidez del suelo, traerá como consecuencia la solubilización de micronutrientes como el Fe, Zn, Mn, Cu, y  $PO_4^{-3}$  en el suelo, los cuales podran ser aprovechados por las plantas.

Por esta razón y ante la necesidad de aumentar la eficiencia en la aplicación de fertilizantes nitrogenados en los suelos de la región; el objetivo del presente estudio fué evaluar el efecto del azufre sobre la nitrificación de tres fuentes de Nitrógeno aplicado en suelos calcáreos de Marín, - Nuevo León.

## 2. OBJETIVO E HIPOTESIS

**2.1 Objetivo:** Evaluar el efecto del azufre sobre la Nitrificación de la urea, Sulfato de amonio y Nitrato de amonio, bajo condiciones de laboratorio en un suelo característico de Marín, N.L.

### 2.2 Hipotesis:

- 1.- El pH de los suelos calcáreos no se modifica por la presencia de azufre agrícola.
- 2.- Es nulo el efecto del tiempo de incubación del azufre sobre la conductividad eléctrica de los suelos calcáreos.
- 3.- La hidrólisis de la urea, permanece constante con la aplicación del azufre en los suelos calcáreos de Marín, N.L.
- 4.- La aplicación de azufre en los suelos no tiene efecto sobre la nitrificación de los fertilizantes probados.

### 3. REVISION DE LITERATURA.

La hidrólisis de la urea y la nitrificación son procesos que influyen en la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados en los suelos calcáreos del Estado de Nuevo León, Sánchez A.(1989); otros procesos tales como, la fijación del amonio, la inmovilización bacteriana, la volatilización del amoniaco y la desnitrificación, determinan la transformación del nitrógeno a formas asimilables para las plantas, teniendo los cultivos eficiencias (respecto a la absorción) de solo el 50% del nitrógeno total aplicado al suelo.

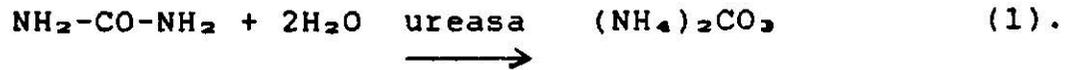
A continuación se discuten las transformaciones químicas y biológicas que determinan el aprovechamiento de los fertilizantes nitrogenados por las plantas cultivadas en los suelos calcáreos.

#### 3.1 Hidrólisis de la Urea.

##### 3.1.1 Transformación de la Urea durante la Hidrólisis.

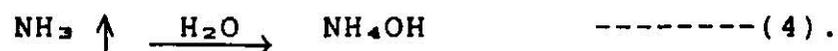
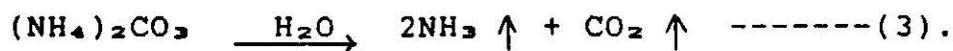
La urea requiere de un proceso de hidrólisis para transformar el nitrógeno ureico a amonio, dicha hidrólisis es catalizada por la enzima ureasa teniendo como producto la formación de carbonato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

La aplicación de urea en el suelo presenta inicialmente una reacción alcalina debido a la formación de la sal amónica  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , tal como lo muestra la reacción (1), finalmente produce una reacción ácida por el desprendimiento de cuatro iones  $\text{H}^+$  del catión  $\text{NH}_4^+$ , cuando esté pasa a formar  $\text{NO}_2^-$ , tal como se muestra en la reacción (2).



La hidrólisis de la urea es afectada por algunos factores como: pH, contenido de carbón orgánico, contenido de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y textura; el pH óptimo para este proceso es de 6.0 a 7.8.

La hidrólisis ocasiona la acumulación de  $\text{NH}_4^+$  en la zona que es aplicado, y por consecuencia un incremento en el pH del suelo. Esta acumulación de  $\text{NH}_4^+$  reduce la población de nitrificantes en los suelos alcalinos. Lo anterior conduce a que el nitrógeno ureico aplicado al suelo se pueda perder por volatilización en la forma de  $\text{NH}_3$  ó aumentar la concentración de  $\text{NO}_2^-$  ocasionada por la oxidación parcial del  $\text{NH}_4^+$ . Las pérdidas de amonio se pueden reducir considerablemente mezclando la urea aplicada con el suelo o bien cuando está es arrastrada hacia dentro del perfil del suelo por la lluvia ó el agua de riego, Savant et al (1987) y Voss.(1984), citados por Sánchez A.(1989). Continuando con la reacción, el carbonato de amonio es transformado a amoníaco y dióxido de carbono según la reacción siguiente:



El amoníaco de la reacción (4) en presencia de humedad cambia a hidróxido de amonio, en donde el amonio es adsorbido por la fracción coloidal del suelo y subsecuentemente nitrifi-

ficado, Ortiz V.(1977).

### 3.1.2. Actividad de la Ureasa.

La capacidad que tiene el suelo para hidrólizar urea, es lo que generalmente se entiende como la actividad de la ureasa. Beri et al (1978), señalaron que la actividad de la ureasa es moderadamente sensible al pH. El pH óptimo sugerido por estos autores fluctua entre 7.0 y 8.5, aunque puede variar con la fuente de ureasa, además señalan que la hidrólisis de la urea es moderadamente más baja a pH 6.0 que a un pH 7.5.

Trabajos realizados por Kumar y Wagenet (1984), demostraron que la actividad de la ureasa se incrementa linealmente con la cantidad de nitrógeno agregado, con una temperatura superior a los 35°C y con el contenido de la humedad arriba de la capacidad de campo. En cambio cuando se adicionó más del 8% de  $\text{CaCO}_3$ , su actividad decreció considerablemente.

De igual forma Zantua y Bremner (1976), al estudiar la persistencia de la actividad de la ureasa en suelos de Iowa E.U.A. con un rango de pH de 5.0-8.0, encontraron que ésta varía en los suelos estudiados y que la actividad de la ureasa después de agregar materiales orgánicos junto con la aplicación de urea al suelo es similar en los mismos y concluyeron que los constituyentes del suelo protegen a la ureasa por medio de la degradación microbiana y otros procesos dirigidos a la inactivación de las enzimas.

### 3.1.2.1 Factores que afectan la actividad de la ureasa.

Las propiedades químicas y físicas del suelo como la --- temperatura, textura del suelo y algunas prácticas culturales afectan la actividad de la ureasa, sin embargo esta puede aumentar con el contenido de arcilla del suelo, contenido de -- carbón orgánico y con la capacidad de intercambio catiónico. Sánchez A. (1989).

### 3.1.3 Factores que afectan la hidrólisis de la urea.

#### 3.1.3.1 Temperatura del suelo.

Ayanaba y Kang (1976), al estudiar la transformación de la urea sobre los suelos tropicales de Nigeria, señalaron que la tasa de urea hidrolizada disminuyó linealmente con respecto al rango de temperatura (20-40°C) utilizado; similares resultados reportan Vlek y Carter (1983).

#### 3.1.3.2 Dosis de urea aplicada.

Vlek y Carter (1983), observaron que la hidrólisis de la urea fue mayor cuando se aplicó 200 µg Nitrógeno-ureico en solución/g que cuando fue aplicada en forma sólida, ya sea incorporados ó aplicados superficialmente.

Savant et al (1987), estudiaron el efecto de la adición de agua después de la aplicación de diferentes dosis de urea en suelos no saturados, encontrando que el retardo en la hidrólisis completa de la urea aplicada superficialmente sobre suelos no saturados, se debió a las altas concentraciones de urea (4,000-7,000 µg/cm<sup>3</sup> de suelo húmedo) cerca de los granulos del fertilizante.

Magalhaes y Chalk (1987), al tratar de conocer el efecto de la concentración de los fertilizantes aplicando urea (600 y 1,200  $\mu\text{g N/g}$  suelo), urea (600  $\mu\text{g N/g}$  suelo) + Nitrapyrin - (N-serve 24E Dow Chemical USA) a una tasa de 9  $\mu\text{g /g}$  suelo y urea(600  $\mu\text{g N /g}$  suelo) +  $\text{KClO}_3$  (10  $\mu\text{g /g}$  suelo), encontraron que el pH inicial del suelo se incrementó debido a la hidrólisis de la urea ocurrida por las altas aplicaciones de urea, pero consecuentemente el pH medido después de 3 días en los tratamientos de urea (600 y 1,200  $\mu\text{g N /g}$  suelo) declinó rápidamente debido a la oxidación del amonio por Nitrosomonas.

### 3.1.3.3 pH del suelo.

Ayanaba y Kang (1976) encontraron que la acumulación de nitritos en suelos ácidos fue insignificante y el pH del suelo decreció por la nitrificación de la urea hidrolizada.

Sánchez A.(1989), mencionó que tanto grandes cantidades de amonio como de nitratos en solución pueden inhibir la nitrificación del amonio, así como causar graves daños a las plantas cuando los valores de pH son arriba de 7.0; ya que durante las primeras 48 horas de observación de la hidrólisis el pH de los suelos estudiados sobrepasó el valor de 7.0, siendo similares sus resultados a los encontrados por Ayanaba y Kang (1976); concluyendo que el pH inicial del suelo al igual que el contenido de arcillas en el suelo afectan la hidrólisis de la urea.

Por su parte Magalhaes et al (1987), observaron que el pH del suelo decrece através de los 28 días de la nitrifica--

ción del fertilizante, encontrando valores de pH altos a los 7 días para la única tasa de urea aplicada (31.6 mg N-ureico/60 g suelo) en suelos con altos contenidos de carbón orgánico (2.3-8.4%) señalando por último que la magnitud de los cambios de pH así como las pérdidas gaseosas de nitrógeno se correlacionaron significativamente con el pH inicial del suelo.

#### 3.1.3.4 Contenido de carbón orgánico.

Sánchez A. (1989), demostró que la rápida hidrólisis de la urea en suelos ligeramente ácidos sometidos bajo estudio, se debió probablemente a su alto contenido de carbón orgánico (1.622%) y bajo contenido de  $\text{CaCO}_3$  (2.11%). Contrariamente la urea se hidrolizó en mayor tiempo en suelos ligeramente alcalinos, posiblemente debido a su bajo contenido de carbón orgánico, provocando una baja actividad microbiana y una reducida actividad de la ureasa. De igual forma Magalhaes et al (1987) en su trabajo concluyeron que las pérdidas de nitrógeno gaseoso a partir de la hidrólisis de la urea cuando aplicaron 31.6 mg N-ureico/60 g suelo) fueron correlacionadas con el contenido de carbón orgánico y el pH del suelo.

#### 3.1.3.5 Contenido de $\text{CaCO}_3$ .

Sánchez A. (1989) al aplicar 150 y 300 ppm de urea en suelos ligeramente alcalinos (pH= 7.8 a 7.9) observó que el tiempo necesario para hidrolizar el 50% de la dosis de urea aplicada, se incrementa al elevar el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$ , debido probablemente a la inactivación que sufre la ureasa con los altos contenidos (10.90-13.65%) de  $\text{CaCO}_3$ .

Kumar y Wagenet (1984), observaron que con la adición de más del 8% de  $\text{CaCO}_3$  en suelos que presentaban una combinación alta y baja de la actividad de la ureasa, esta decreció considerablemente, sin embargo cuando la temperatura fue mayor de  $35^\circ\text{C}$  y el contenido de humedad estuvo por arriba de la capacidad de campo, se incrementó linealmente la actividad de la ureasa.

### 3.1.3.6 Textura del suelo.

Monreal et al (1986), señalaron que las variaciones que presenta la hidrólisis de la urea están relacionadas con el tipo de suelo, siendo más rápida ésta en los suelos Chernosem negro que los del tipo luvisol, ocasionado principalmente por la cantidad de carbón orgánico de estos suelos.

Savant et al (1987), reportaron que en suelos con mayor densidad aparente ( $\pm 0.03 \text{ Ton/m}^3$ ), la urea se difundió a mayor distancia debido a la rápida formación de complejos urea-ureasa en la interfase líquido-sólido del suelo.

Durand (1964), citado por Ladd y Jackson (1982), señaló en su trabajo que la textura arcillosa y el pH del suelo pudieron haber influido en un menor grado para hidrolizar la urea en un menor tiempo, posiblemente porque ese suelo presentó la mayor cantidad de ureasa.

Sánchez A. (1989), al aplicar 150 y 300 ppm de nitrógeno en forma de urea en suelos ligeramente alcalinos encontró que la capacidad de amortiguamiento ejercida por el alto contenido de arcilla (65.96%) que presentaron estos suelos fue deter

minante en el cambio del pH causado por la hidrólisis de la urea.

### 3.1.3.7 Velocidad de la hidrólisis de la urea.

Serigumba y Fiskell (1976), citados por Pineda M.(1980) compararon suelos húmedos e inundados aplicando urea, observando que la velocidad de hidrólisis de la urea es más lenta en los suelos húmedos, llegándose a completar en 192 horas.

Al añadir grandes concentraciones de urea en suelos no saturados (7,000  $\mu\text{g}$  urea/ $\text{cm}^3$  suelo húmedo) la hidrólisis completa de la urea se redujó debido a que disminuyó la actividad de la ureasa efectiva del suelo, Savant et al (1987).

Por su parte Sánchez A.(1989), observó que el tiempo requerido para que se lleve acabo la hidrólisis de la urea fluctúa de 12-35 horas en suelos ligeramente alcalinos y ligeramente ácidos, sin embargo el tiempo que se hidrolizó la dosis alta (300 ppm de urea) para los dos tipos de suelos fue mayor que el tiempo requerido para hidrolizar la dosis baja (150 ppm de urea).

Sankhayan y Shukla (1976), citados por Pineda M.(1980), determinaron que la urea aplicada se había hidrolizado 24 horas después de la aplicación, siendo lenta la hidrólisis en suelos con alta conductividad eléctrica. Indicando que a mayor cantidad de urea aplicada, mayor fue el tiempo requerido para la hidrólisis, aunque esta no mantuvo una proporción constante con respecto a la dosis de urea aplicada.

### 3.1.4 Factores que modifican la hidrólisis de la urea.

#### 3.1.4.1 Método de aplicación.

Magalhaes et al (1987), al estudiar el efecto de la colocación de los fertilizantes en 10 suelos seleccionados por su alta capacidad de nitrificación y altos contenidos (2.3-8.4%) de carbón orgánico, encontraron que al añadir urea en solución, urea granulada con espaciamiento de 1 cm y urea granulada con cero espaciamiento, probados sobre una rejilla en forma de mateado, obtuvieron efectos no significativos en forma general para el método de aplicación de los fertilizantes y efectos pequeños en comparación con las diferencias encontradas entre los suelos. Señalando también que las altas pérdidas de amoníaco de la urea granulada con cero espaciamiento, comparada con la urea granulada con espaciamiento y la urea en solución, se debió probablemente al pH alto presente en el sitio de localización del fertilizante y la baja capacidad de intercambio catiónico de los suelos.

En otro experimento realizado por Vlek y Carter (1983) en tres suelos semiaridos de Texas, E.U.A demostraron que la hidrólisis de la urea en las primeras 16 horas se completó en un 100 y 57%, cuando se agregó urea en forma de solución. Observaron que la incorporación de urea en forma de supergranulos reduce la cantidad de urea hidrolizada; concluyendo que cuando la urea es aplicada en forma de solución se hidroliza más rápidamente que cuando es aplicada en forma solida.

Monreal et al (1986) y Savant et al (1987) observaron que al

aplicar urea en bandas, la tasa de hidrólisis de la urea de-- creció en comparación con la urea que se mezcló en el suelo - la cual se hidrolizó en un mayor tiempo (8 días) debido a la gran área de contacto del fertilizante con los microorganismos del suelo.

#### **3.1.4.2 La acumulación del amonio de la urea.**

La acumulación del amonio de la urea en el suelo puede estar dada por las siguientes razones, el exceso de iones amonio producidos por una rápida hidrólisis de la urea, por la cantidad de iones amonio adsorbidos por las arcillas, los cuales se encuentran potencialmente aprovechables y por el alto contenido de arcillas en los suelos.

#### **3.1.4.3 Volatilización del amoníaco de la urea.**

La volatilización del amoníaco es importante en los suelos calcáreos cuando en el sitio de aplicación del fertilizante el pH es mayor de 7.0, ó cuando la reacción de los fertilizantes sea altamente alcalina y que ésta pueda llevar el pH del suelo hacia la alcalinidad. Sánchez A.(1989), en su trabajo reportó que durante la primera semana después de la aplicación de los fertilizantes se observaron las mayores pérdidas de amoníaco, principalmente cuando se añade urea, siendo menores estas pérdidas con la aplicación de sulfato de amonio. El suelo ligeramente alcalino presentó las mayores pérdidas de amoníaco (21.26 ppm), las cuales parecen estar asociadas con el pH inicial del suelo, aunque estas pérdidas --- tienden a ser menores con el tiempo de incubación.

### 3.1.5 Nitrificación de la urea.

Magalhaes et al (1987), al aplicar urea en solución, --- urea granulada con espaciamiento y sin espaciamiento a una -- dosis de 31.6 mg N/60 g suelo, observaron que los nitratos se acumularon en el suelo debido a que la alcalinidad del mismo inhibió más a nitrobacter que a nitrosomonas.

En otro trabajo realizado por Magalhaes y Chalk (1987), encontraron que con la aplicación de altas tasas de urea --- (1200 ppm), se presentó una acumulación de nitritos por consecuencia de una inhibición intensa de Nitrobacter, lo cual repercutió en una inhibición de la nitrificación.

### 3.1.6 Algunos trabajos realizados con la aplicación de azufre

Troyo D.(1984), al estudiar el efecto de la fertiliza--- ción nitrogenada en suelos de Apodaca, N.L. (aplicando 0, 70 y 140 Kg/Ha de nitrógeno en forma de urea) con y sin aporta--- ciones de azufre (0 y 120 Kg/Ha de azufre agrícola) sobre la producción del girasol (Helianthus annus L.) Var. Tecmon-2, - encontró que el girasol no presentó respuesta a la fertiliza--- ción nitrogenada, ni aún con aportaciones de azufre.

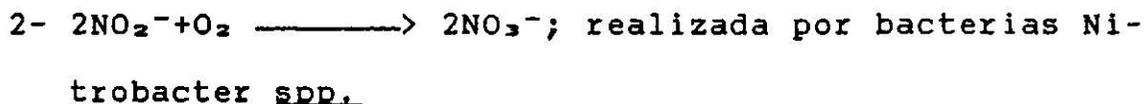
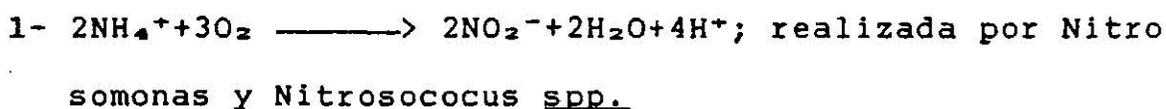
En suelos de Karnataka, India; la adición de 10 ppm de azufre a la dosis de fertilización N-P-K común de la región, causó incrementos en el rendimiento de aquenio y el contenido de N y K de las hojas, disminuyendo el de P, pero incremen--- tándose por otro lado el contenido de aceite y la concentra--- ción de cistina y metionina.

Foth D.H.(1985), señala que la urea revestida de azufre a presentado un buen potencial para la liberación lenta del nitrógeno en algunos cultivos como la piña, caña de azúcar, los cuales tardan en madurar hasta dos años. De esta forma la fertilización nitrogenada ha reducido las pérdidas por lixiviación y un menor número de aplicaciones; lo cual se reflejó en una aplicación más eficiente.

## 1.2 Mineralización del Nitrógeno.

### 1.2.1 El proceso de Mineralización.

La mineralización del nitrógeno es la transformación del amonio a nitratos realizada por dos grupos de bacterias en dos etapas:



Este proceso presenta tres consideraciones muy importantes: i) Es un proceso biológico, el cual es afectado por las condiciones ambientales, ii) requiere oxígeno, iii) es un proceso acidificante. Boswell et al (1985).

Por otra parte al agregar fertilizantes amoniacales al suelo se observa un letargo en el proceso de la nitrificación no presentandose cuando se agregan bajos niveles de fertilizante. El retardo en la oxidación puede ocurrir en el paso de  $\text{NH}_4^+$  fertilizante a  $\text{NO}_2^-$  ó  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ , aunque normalmente el paso de  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$  es rápido y solo pequeñas cantidades de -

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se encuentran en el suelo Boswell et al (1985).

### 3.2.2 Factores que afectan la Nitrificación.

#### 3.2.2.1 Temperatura del suelo.

Es sabido que la temperatura afecta fuertemente el proceso de nitrificación, así lo demostraron Flowers y O'Callaghan (1983), cuando aplicaron sulfato de amonio y estiercol de cerdo a una dosis de 50 y 250 µg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y una temperatura de incubación de 5, 10 y 15°C; observaron que la tasa de nitrificación aumentó a medida que se eleva la temperatura.

De igual forma Cassman y Munns (1980), estudiaron los efectos interactivos de la temperatura del suelo y la humedad incluyendo en su experimento cuatro temperaturas de incubación (15, 20, 25 y 30°C) en combinación factorial con seis niveles de humedad del suelo (0.1, 0.3, 0.7, 2, 4 y 10 bar), encontrando que la mineralización del nitrógeno se incrementó arriba de los efectos esperados cuando la temperatura fue de 30°C.

Por su parte Malhi y McGill (1982), en suelos de Alberta Central, Canada; concluyen que la nitrificación está relacionada con el clima de la región, observando que la temperatura óptima para la nitrificación en Alberta Central fluctuó en el rango 20-30°C y la máxima nitrificación ocurre a los 20°C, siendo muy sensible a las altas temperaturas.

Alexander (1965), señala que el rango óptimo para la nitrificación fluctúa entre los 30 y 35°C, aunque se han reportado casos de nitrificación hasta los 2°C, observando también

que por arriba de los 40°C este proceso no se presenta.

Chandra (1962), en su experimento de incubación, luego de 24 días encontró que la nitrificación del amonio aplicado al suelo fué de un 100% cuando la temperatura fué de 27°C, -- mientras que cuando la temperatura fué de 16°C, la nitrificación bajo a un 59% y cuando se disminuyó la temperatura a 5°C la nitrificación solo fué de 29% en el mismo tiempo de incubación.

### 3.2.2.2 El pH del suelo.

La nitrificación se puede realizar a un pH de 4.5-11.9, con un óptimo de 6.5-7.6, por lo cual podemos mencionar que se trata de un proceso propio de los suelos neutros. (Teus -- cher y Adler, 1980).

Sin embargo Frederik y Bradbent (1966), citados por Kisel et al (1985), señalan que un pH de 7.0-8.0, es el óptimo y adecuado para que se lleve a cabo la nitrificación autotrófica, viendose inhibida por la toxicidad del  $\text{NH}_3$  y  $\text{HNO}_2$  cuando el pH del suelo está fuera del valor óptimo.

Se ha observado que a un pH de 6.0 y 6.5 la amonificación y nitrificación se producen casi a la misma velocidad, resultando un balance o equilibrio muy perjudicial, ya que -- cuando los cultivos requieran los nutrimentos para su aprovechamiento en un determinado tiempo, tal vez estos ya no se -- encontraran en forma disponible para las plantas ó quizás --- ausentes en el suelo.

Flowers y O'Callaghan (1983), muestran que el aumento en la nitrificación con estiercol de cerdo aplicado en suelos -- ácidos, se atribuye directamente a un efecto en el incremento del pH de 5.9 a 7.0 en el suelo. Así Cooper (1975), citado -- por los mismos autores señala que la no acumulación de nitritos es inhibida por el efecto producido en el incremento del pH.

Malhi y McGill.(1982), concluyeron que la influencia reductora de las dosis altas de  $N-NH_4^+$  (200 y 300  $\mu g N-NH_4^+/g$ ) en la nitrificación no pudo ser atribuida solamente al pH resultado de la acumulación del  $N-NH_4^+$ , si no que la reducción fue probablemente por la combinación de los efectos producidos por el pH alto e incrementos en el contenido de sal.

Trabajos realizados por Ayanaba y Kang (1976), reportaron que la nitrificación fue lenta en los suelos ácidos de Nigeria, y el pH del suelo fue aumentando por la nitrificación de la urea hidrolizada.

Alcalde (1978), citado por Pineda M.(1980), al incubar - 100 g de suelo con 20 mg de  $N-NH_4^+$ , observó que la producción de nitratos a los 14, 21 y 35 días a un pH de 4.4 fueron de - 1.8, 2.3 y 4.7 mg de  $N-NO_3^-$ , en cambio cuando el pH fue de -- 6.0, la producción de  $N-NO_3^-$  fue de 8.0, 12.0 y 21.0 mg de --  $N-NO_3^-$  respectivamente para los tiempos antes mencionados.

### 3.2.2.3 Tiempo de incubación.

Campino (1982), demostró que después de 7 días de incubación, la tasa de nitrificación de los tratamientos con sales

(KCl,  $K_2O_4$  y  $K_2CO_3$ ) fue más baja que la tasa que se encontró en los tratamientos testigo, incrementándose la nitrificación a través del tiempo de incubación.

Sánchez A. (1989), en su trabajo de la Dinámica de urea y sulfato de amonio para suelos calcáreos, encontró que tanto la urea como el sulfato de amonio aplicados a una dosis de 150 y 300 ppm, la nitrificación se inició desde la primer semana de incubación, alcanzando su valor máximo en la segunda semana después de su aplicación.

#### 3.2.2.4 Concentración del sustrato.

Malhi y McGill (1982), señalaron que la nitrificación en suelos ligeramente ácidos fue rápida a 200  $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{g}$  de suelo pero fue inhibida a los 300  $\mu\text{g N-NH}_4^+/\text{g}$  de suelo aplicados; encontraron que la máxima concentración tolerable de  $\text{N-NH}_4^+$  aparece entre 400-800  $\mu\text{g/g}$  de suelo.

Flowers y O'Callaghan (1983), al agregar 50  $\mu\text{g}$  de  $\text{N-NH}_4^+$  observaron que la tasa de nitrificación es constante y no se afectó significativamente por la fuente fertilizante, sin embargo la adición de 250  $\mu\text{g}$  de  $\text{N-NH}_4^+$  en forma de sulfato de amonio causó marcada inhibición de la nitrificación; contrariamente la adición de 250  $\mu\text{g}$   $\text{N-NH}_4^+$  en forma de estiércol de cerdo presentó un aumento muy marcado en la tasa de nitrificación, (9.61-9.87  $\mu\text{g N/g}$  suelo/día).

#### 3.2.2.5 Contenido de humedad.

Como regla general la buena actividad nitrificante se produce a la humedad del 50-80% de la capacidad de campo, sin

embargo esta se ve reducida en suelos secos, así lo demuestra Greenland (1958) al reportar nitrificación al 4% de humedad del suelo; Robin (1957), encontró la presencia de nitrificación en el punto de marchitez, ambos autores citados por Pineda M. (1980).

Se ha observado que períodos húmedos que siguen a una sequía, se presenta una activa producción de nitratos, ya que las bacterias nitrificantes tienen una gran capacidad de resistencia a la desecación, Pineda M. (1965). Cassman y Munns (1980), señalaron que la mineralización del nitrógeno declina linealmente con el contenido de humedad en suelos ligeramente alcalinos ( $\text{pH}=7.6$ ), por el contrario Flowers y O'Callaghan. (1983), observaron que la nitrificación aumentaba al incrementarse el contenido de humedad a un 60% de la capacidad de campo del suelo, excepto cuando la humedad era baja.

Por su parte Keith y Smith (1962), observaron que las nitrobacterias son más sensibles a excesos de humedad que a condiciones secas del suelo.

Según Boswell et al (1985), señalaron que la nitrificación declina rápidamente cuando el contenido de humedad está por arriba de la capacidad de campo y por abajo de ésta, la nitrificación continua por un amplio intervalo de humedad del suelo, e incluso se extiende hasta alcanzar el punto de marchitez, desapareciendo bajo condiciones de inundación. Un rango del 70-100% de la capacidad de campo es el óptimo para la nitrificación.

### 3.2.2.6 Profundidad del suelo.

La nitrificación es más activa en los horizontes superficiales (epipedones), donde se presentan factores favorables como la aereación, humedad, temperatura, pH, disponibilidad del amonio, entre otros, Alexander (1965), citado por Pineda M.(1980).

Cassman y Munns (1980), encontraron que la tasa de nitrificación difirió más del doble en las muestras con profundidades de 0-36 cm, mientras que a profundidades mayores (36-108 cm) la relación entre la nitrificación del nitrógeno acumulado y la raíz cuadrada del tiempo de incubación mostró una línea curva.

Charley y West (1977) señalaron que la tasa mayor de nitrificación corresponde a una capa de 0-2.5 cm superficiales en la cual el  $N-NO_3^-$  es el anión dominante, ya que debajo de este nivel la actividad de mineralización empieza a decrecer y en horizontes más profundos el  $N-NH_4^+$  viene a ser la forma iónica cuantitativamente dominante.

### 3.2.2.7 Aplicación del fertilizante.

La adición de cualquier fertilizante provoca una disminución en la nitrificación, así lo demostró Campino (1982), cuando al aplicar  $K_2CO_3$ ,  $KCl$ ,  $K_2SO_4$ , observó que el  $Cl^-$  y el  $SO_4^{2-}$  reducen la tasa de nitrificación, mientras que el  $CO_3^{2-}$  la promueve. Con la aplicación de  $K_2CO_3$  se prolongó la nitrificación hasta los 60 días después de la incubación.

Martikainen (1965), al agregar sulfato de amonio en sue-

los de Finlandia, observó que este inhibe la nitrificación ya que disminuye el pH del suelo orgánico (pH 4.7). La aplicación de urea no inhibe la nitrificación debido a que eleva el pH del suelo cerca de la neutralidad.

En otro trabajo Magalhaes et al (1987), concluyeron que el método de aplicación de la urea no es significativo cuando este producto se aplicó en solución, urea granulada con espaciamiento y sin espaciamiento, y este efecto es más pequeño - comparado con las diferencias de nitrificación entre los suelos de estudio.

### 3.2.3 Factores que promueven la nitrificación.

Flowers y O'Callaghan (1983), encontraron que la nitrificación en suelos ácidos del Reino Unido aumentó cuando la humedad de la capacidad de campo fue del 60% y con una dosis de 250  $\mu\text{g N-NH}_4^+$ /g suelo.

Sin duda alguna el pH es otro de los factores que pueden favorecer el proceso de nitrificación, más si esté se encuentra en un rango neutro de 6.5-7.6. De igual forma una temperatura entre 30-35°C, es el rango óptimo para la nitrificación.

### 3.2.4 Inhibidores de la nitrificación.

La aplicación de altas tasas de  $\text{N-NH}_4^+$  al suelo inhiben la nitrificación, así lo demuestran Flowers y O'Callaghan (1983), Cooper (1975) citado por los mismos autores, Malhi y McGill (1982), Keith y Smith (1962), Magalhaes y Chalk (1987).

Por otra parte el azufre parece tener intervención en la reducción de los nitratos y el pH de los suelos alcalinos.

Los pesticidas pueden inhibir la nitrificación, así por ejemplo el cloro es más tóxico para la oxidación del amonio a nitritos que para la formación de nitratos, mientras que los cloratos y tiocianatos tienen mayor efecto en el último paso de la nitrificación.

Estos efectos retardantes de la nitrificación se pueden usar positivamente, es decir, en ciertas circunstancias resulta conveniente que la nitrificación sea retardada para evitar excesivas pérdidas por lixiviación y así tener una producción de nitratos más permanente. Alexander (1965), citado por Pineda M. (1980).

### 3.2.5 Inmovilización del nitrógeno.

Flowers y Arnold (1983), al tratar de conocer la inmovilización del nitrógeno en suelos con alto contenido de carbón orgánico (1.88-3.01%), observaron que al aplicar 100  $\mu\text{g}$  de  $\text{N-NH}_4^+$ /g de suelo en forma de estiércol de cerdo el periodo de inmovilización fue constante durante 30 días a 5°C.

Concluyendo que la tasa de inmovilización creció al aumentar el contenido de humedad del 10 al 40%, aunque el periodo de inmovilización neta fue más corto tanto que la cantidad de nitrógeno inmovilizado fue similar.

### 3.2.6 Velocidad de nitrificación.

Cassman y Munns (1980), concluyen que la velocidad de nitrificación es afectada por i) la profundidad del perfil

del suelo, ii) la interacción temperatura humedad, iii) tanto la cantidad como la distribución de la humedad del suelo.

Por otra parte la velocidad de nitrificación en áreas -- que reciben residuos de cosecha ricas en nitrógeno, oscila -- desde menos de 1 ppm hasta 20 ppm de nitrógeno/día (Tyler et al, 1959).

Gómez J.(1974), al realizar un estudio comparativo de -- velocidades de nitrificación en suelos ácidos y neutros del Estado de Nuevo León, aplicando diferentes abonos orgánicos - que se incorporaron al suelo junto con dos fuentes de ferti-- lizantes inorganicos (urea y sulfato de amonio); encontró que la aplicación de 5,000 ppm de urea y sulfato de amonio se --- neutralizan más fácilmente que las formas orgánicas conteni-- das en la alfalfa, estiércol de bovino y gallinaza.

## **4. MATERIALES Y METODOS.**

### **4.1 Descripción de la zona de estudio.**

#### **4.1.1 Localización.**

El presente estudio se realizó en los suelos de la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, situada en el municipio de Marín, N.L., geográficamente se encuentra localizado entre los 25° 15' y 25° 55' de Latitud norte, 100° 00' y 100° 05' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una elevación de -- 375 msnm.

#### **4.1.2 Clima.**

El clima predominante de la región es del tipo Bsl, seco y muy extremoso con lluvias escasas durante la mayor parte -- del año, no así el mes de septiembre donde se presentan las -- mayores precipitaciones pluviales que van de 110 a 120 mm, -- mientras que en el mes de marzo se registra la mínima preci-- pitación entre 10-15 mm. La precipitación pluvial promedio se encuentra entre los 300 y 600 mm anuales. La temperatura me-- dia anual de la región generalmente es mayor a 22°C, mientras que la temperatura media mensual más cálida fluctúa entre los 33 y 35°C, estos se presentan durante el período mayo-agosto; siendo para los meses de enero y diciembre la temperatura más baja, con un promedio que fluctúa de 10-15°C.

#### **4.1.3 Geología.**

En la zona de estudio predominan las asociaciones de caliza-lutita de origen sedimentario, las cuales pertenecen al

cretácico del mezozoico de acuerdo a la síntesis geográfica - del Estado de Nuevo León, publicada por el Instituto Nacional de Estadística, geografía e Informática.

#### 4.1.4 Suelos.

Los suelos de la región presentan las características -- típicas de las regiones semiaridas considerados como ligera-- mente alcalinos con valores de pH entre 7.5 y 8.5, pobres en su contenido de materia orgánica (1-2%) y elevados contenidos de  $\text{CaCO}_3$  (>10%), de textura arcillosa y franca, Sánchez A. --- (1989). Además, son suelos de color negro, gris oscuro de --- origen aluvial, completamente pesados los cuales presentan -- grandes grietas en tiempos de sequía y algunos problemas de - salinidad.

#### 4.2 Selección de los sitios experimentales.

La selección de los sitios experimentales se realizó en base a los resultados obtenidos del trabajo presentado por -- Sánchez A.(1989), para los suelos de la región los cuales --- presentan nula respuesta a la fertilización Nitrogenada. Así mismo por la alta capacidad de fijar amonio y por la rápida - hidrólisis de la urea.

#### 4.3 Muestreo de los suelos.

El muestreo se realizó en los terrenos de una parcela de 4,000 m<sup>2</sup> dedicada a la siembra de maíz, tomate, chile y algunas otras hortalizas de la Facultad de Agronomía cercana a -- las presas gemelas, tomando 30 submuestras de aproximadamente 1 kg, de manera de cubrir todo el área seleccionada, para ---

luego formar una muestra compuesta de 5 kg. La muestra colectada se secó al aire, (no se tamizó para que esta asemejara las condiciones del lugar donde posteriormente se aplicaron los fertilizantes) y posteriormente se almacenó en una bolsa de polietileno.

#### 4.4. Establecimiento del experimento.

El diseño experimental empleado en el estudio fue un completamente al azar y constó de 8 tratamientos con 7 repeticiones.

Se aplicaron 3 fuentes de Nitrógeno de fertilizantes comerciales (urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio), con 2 dosis de aplicación: 0 Nitrógeno y 150 kg N/Ha. Las dosis de azufre aplicado fueron: 0 y 0.320 g azufre/100 g de suelo que equivalen a 20 meq azufre/100 g de suelo.

De las 7 repeticiones, 3 se destinaron a medir el pH y conductividad eléctrica, mientras que las 4 restantes se les determinó la cantidad de  $N-NH_4^+$  y  $N-NO_3^-$  de acuerdo al método descrito por Bremner (1965). Los tratamientos usados en el experimento se muestran en el Cuadro No 1.

La unidad experimental fue un frasco de agitación. Se añadieron 10 g de suelo, y de igual forma se agregaron los 20 meq de azufre a cada frasco de cada tratamiento. En los tratamientos donde se aplicó azufre, este se mezcló con el suelo. En seguida a todos los tratamientos se añadió 2.2 ml de agua destilada para llevarlos al 80% de la capacidad de campo; determinada por medio de las ecuaciones de predicción para las

**Cuadro 1** Descripción de cada uno de los tratamientos probados en el estudio del efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes.

Número de Tratamiento	Fuente Fertilizante	DOSIS	
		Nitrógeno (kg N/Ha)	Azufre * (meq/100 g suelo)
1	—————	0	0
2	—————	0	20
3	Urea	150	0
4	Urea	150	20
5	Sulfato de amonio	150	0
6	Sulfato de amonio	150	20
7	Nitrato de amonio	150	0
8	Nitrato de amonio	150	20

————— Sin Nitrógeno

\* Se uso azufre agrícola al 96% de pureza

constantes hidricas (Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente) calculadas por Guzman C.(1981). Después se taparon los frascos con un plástico y se realizó un pequeño orificio para permitir el intercambio gaseoso. Se dejó incubar el azufre por un período de 15 días. Cada tres días se agregó la cantidad de agua destilada necesaria para llevar los suelos a la humedad inicial.

Al termino de la incubación del azufre, se aplicaron las fuentes fertilizantes de nitrógeno (urea, sulfato de amonio, y nitrato de amonio), en sus respectivos tratamientos y dosis (0 y 150 kg N/Ha). Dejándose incubar el azufre con el nitrógeno fertilizante por un periodo de 4, 8 y 16 días.

El estudio del efecto del azufre sobre los fertilizantes nitrogenados se dividió en dos fases: Hidrólisis de la urea y nitrificación de los fertilizantes.

#### 4.4.1. Hidrólisis de la urea.

La hidrólisis de la urea se estudió considerando los siguientes factores y niveles:

<u>Factor</u>	<u>Nivel</u>
Dosis de Nitrógeno	0, 150 $\mu$ g N/g de suelo
Dosis de Azufre	0, 20 meq de S/100 g de suelo
Tiempo de incubación del N	4, 8 y 16 días
Tiempo de incubación del S	16 días

De esta manera se formaron 8 tratamientos con 7 repeticiones, probados bajo un diseño completamente al azar en arre

glo factorial. Se evaluó la hidrólisis de la urea por medio del método descrito por Ayanaba y Kang (1976), modificando el peso de la muestra a 10 g de suelo secado al aire.

Las muestras de suelo así preparadas se colocaron en frascos de agitación. Se agregó la dosis correspondiente de azufre; y se dejó incubar por un período de 16 días.

Terminado el tiempo de incubación se añadió una solución de urea equivalente a 150  $\mu\text{g/g}$  de suelo de N-ureico; sólo se agregó agua destilada a las muestras testigo. A todas las muestras se les agregó agua destilada para llevarlas al 80 % de la capacidad de campo (C.C). El suelo y la solución de urea se mezclaron; se tapo con polietileno, al cual se le hizo un pequeño orificio para permitir intercambio gaseoso; se incubaron a temperatura ambiente. Los tiempos de incubación fueron 4, 8 y 16 días. Después de cada tiempo de incubación se removieron los frascos que lo requirieron; en 3 repeticiones se midió pH en una relación suelo:agua 1:2, y la conductividad eléctrica con el puente de Wheatstone en una relación suelo:agua (1:5). En las 4 repeticiones restantes se midió  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  por extracción con KCl 1 N cuantificados por arrastre de vapor según el método descrito por Bremner (1965); para la descripción del método ver Cuadro 13A y la Figura No. 11A del Apendice.

#### 4.4.2. Nitrificación de los fertilizantes.

Para estudiar la nitrificación de los fertilizantes se utilizó el método descrito por Ayanaba y Kang (1976).

Los factores y niveles estudiados fueron los siguientes:

<u>Factor</u>	<u>Nivel</u>
Fuente de Nitrógeno	urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio.
Dosis de Nitrógeno	0, 150 $\mu\text{g}$ N/g de suelo
Tiempo de incubación del N	4, 8 y 16 días
Dosis de azufre	0, 20 meq de S/100 g de suelo
Tiempo de incubación del S	16 días.

Se probaron 8 tratamientos con 7 repeticiones, bajo un diseño completamente al azar en arreglo factorial. Se pesaron 10 g de suelo seco al aire, se colocaron en frascos de agitación agregando las dosis correspondientes de azufre; el cual se dejó incubar por un periodo de dos semanas. Terminado el tiempo de incubación se agregaron los tratamientos en solución equivalentes a 150  $\mu\text{g}$  de N. Ajustando la humedad al 80 % de la capacidad de campo. Sólo se agregó agua destilada a las muestras testigo. Las muestras se mezclaron; y se taparon con polietileno, al cual se le hizo un pequeño orificio para permitir intercambio gaseoso. Los tiempos de incubación fueron 4, 8 y 16 días a temperatura y humedad ambiental.

Cada 3 días se agregó la cantidad de agua destilada necesaria para mantener los suelos a su humedad inicial.

Después de cada periodo de incubación se removió cada tratamiento con sus 3 repeticiones para determinar el pH (relación suelo:agua 1:2) y la conductividad eléctrica (relación

suelo:agua 1:5). Posteriormente las 4 repeticiones restantes se les adicionó KCl 1 N para extraer amonio y nitratos y determinarlos por arrastre de vapor de acuerdo al método Bremner (1965), tal como se muestra en la Figura No. 11A y el Cuadro 13A del Apendice.

#### 4.5 Análisis estadístico.

La evaluación estadística de los resultados fué realizada en el Centro de Informática de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autonoma de Nuevo León.

Durante el transcurso del estudio se procedió a realizar una prueba estadística para las variables pH, conductividad eléctrica, cantidad de amonio y cantidad de nitratos encontrados a los 4, 8 y 16 días de incubado el nitrógeno, con la finalidad de evaluar estadísticamente los resultados encontrados.

Para el análisis estadístico; éste se particiono en dos: primero se probó por medio de un factorial 3x2 sin testigos y en segundo lugar los calculos se efectuaron por medio de la tecnica de contrastes ortogonales.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados encontrados durante el desarrollo del experimento para evaluar el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes (urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio) se discutiran por separado en cada fase experimental: Hidrólisis de la urea y nitrificación de los fertilizantes. Las variables estudiadas en cada una de estas fases fueron pH, CE,  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ .

### 5.1 Hidrólisis de la urea.

#### 5.1.1. pH.

El efecto de la hidrólisis de la urea sobre el pH através de las dosis de azufre y del tiempo de incubación se presenta en el Cuadro 2 y la Figura 1.

Los valores de pH encontrados en el tratamiento donde solamente se aplicó urea fueron más altos que los encontrados en el tratamiento donde se aplicó urea mas azufre en forma general para los 3 tiempos de incubación (Figura 1).

Así mismo, en el tratamiento donde se aplicó azufre el pH fúe menor que en el tratamiento testigo (unicamente suelo) Figura 1.

Por otra parte, se observó que a los 4 días de incubación el pH presentó los valores más bajos, no siendo así a los 8 días donde se encontraron los valores más altos y posteriormente comenzar a disminuir a los 16 días en forma general, (Figura 1).

**Cuadro 2** Cambios de pH y CE registrados en los suelos durante la hidrólisis de la urea y la nitrificación de urea, sulfato y nitrato de amonio, a través de los 4, 8 y 16 días después de la aplicación.

Tratamientos		DIAS DE INCUBACION					
		4		8		16	
		pH	* C.E	pH	*C.E	pH	*C.E
Mg N/g suelo	meq S/100 g suelo	1:2	1:5	1:2	1:5	1:2	1:5
1.	0 Nitrógeno + 0 Azufre	7.45	0.69	7.85	0.63	7.78	0.60
2.	0 Nitrógeno + 20 Azufre	7.15	1.69	7.64	1.64	7.60	1.50
3.	150 Urea + 0 Azufre	7.57	0.81	7.74	0.82	7.64	0.89
4.	150 Urea + 20 Azufre	7.56	1.61	7.65	1.70	7.50	1.80
5.	150 Sulfato de amonio + 0 Azufre	7.54	0.95	7.72	0.97	7.62	1.05
6.	150 Sulfato de amonio + 20 Azufre	7.29	1.84	7.61	1.77	7.52	1.80
7.	150 Nitrato de amonio + 0 Azufre	7.39	0.85	7.73	0.83	7.63	0.92
8.	150 Nitrato de amonio + 20 Azufre	7.27	1.97	7.57	1.78	7.51	1.80

\* En mmhos/cm a 25°C.

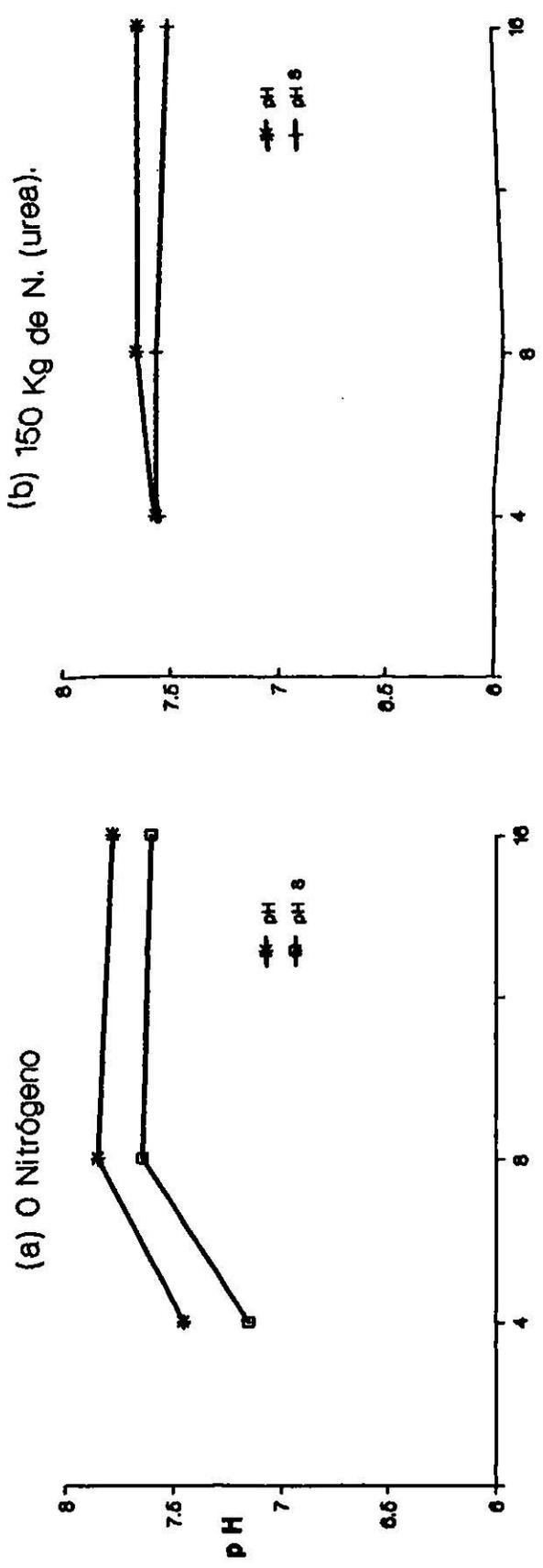


Figura 1 Camblos de pH registrados durante el comportamiento de los tratamientos testigo (a) y durante la hidrólisis de la urea (b), para observar el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.

Se observó que los pH's encontrados durante la hidrólisis de la urea en los tratamientos donde se aplicó urea con azufre y urea sin azufre (pH= 7.56 y 7.57 respectivamente) a los 4 días de incubado el N-ureico, no presentaron diferencia alguna, ( $\alpha=0.05$ , Cuadro 5-A y Figura 1), lo cual se pudo deber a que el pH presentado en este tiempo estuvo más bien dado por la acumulación del amonio producto de la hidrólisis de la urea y no por el efecto acidificante del azufre, Addiscot y Cox (1976).

Los valores menores de pH en el presente estudio pudieron estar dados por la cantidad de amonio encontradas para el mismo tiempo de incubación, ya que estas fueron menores que las encontradas por Sánchez A.(1989)(que fueron de 113.13 ppm de  $\text{NH}_4^+$ ); tal vez por que en su estudio se presentó una mayor acumulación de amonio.

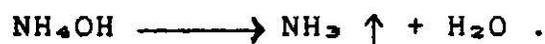
Se observó que a los 8 días el pH presentó los valores más altos (7.74 y 7.65) tanto en el tratamiento donde solo se aplicó urea como en el que se aplicó urea mas azufre respectivamente, observandose un menor valor de pH en el tratamiento que incluye urea mas azufre, debido a la reducción del pH causada por la formación de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en el suelo (Figura 1 y Cuadro 2).

Después de 8 días el pH comenzó a descender hasta alcanzar valores menores que los encontrados a los 4 días cuando se aplicó urea mas azufre (Figura 1 y Cuadro 2).

El descenso del pH fué ocasionado por la formación de --

$\text{NO}_3^-$  y posiblemente por la volatilización del  $\text{NH}_3$ . Esto se -- observa en el Cuadro 2.

El descenso en el pH por la disminución que presenta la concentración de  $\text{NH}_4^+$  se puede explicar debido a la volatilización de éste en forma de  $\text{NH}_3$ , según se observa en la reacción siguiente:



Estos resultados fueron similares a los encontrados por Magalhaes et al (1987).

Los resultados encontrados en el tratamiento testigo y -- donde solo se aplicó azufre, fueron similares a los resultados en los tratamientos donde solo se aplicó urea y urea mas azufre, sin embargo en el tratamiento donde se aplicó solo azufre, se observó una reducción del pH desde los 4 días de incubación , lo cual se debió al efecto acidificante del azufre. Esto se observa en la Figura 1 y el Cuadro 2.

En estos resultados se observa que los valores de pH encontrados en los tratamientos donde se aplicó azufre y azufre mas urea fueron más ácidos, favoreciendo así la permanencia -- del  $\text{NH}_4^+$  en el suelo ó bien retardando la hidrólisis de la -- urea.

### 5.1.2 Conductividad eléctrica.

El efecto de la hidrólisis de la urea sobre la CE atra-- ves de las dosis de azufre y del tiempo de incubación se presenta en el Cuadro 2.

Se encontro que la aplicación de azufre agrícola al sue-

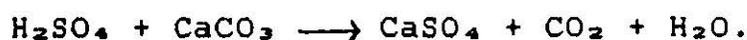
lo incrementa la CE del mismo significativamente ( $\alpha=0.01$ , --- Cuadro 6A) y se mantiene constante durante el tiempo de observación del experimento (4, 8 y 16 días) Figura 2.

Los valores mayores de CE se presentaron cuando se aplicó azufre y azufre mas urea, siendo este valor el doble del valor encontrado en los tratamientos que no contenian azufre (Testigo y urea). Esto se observa en la Figura 2.

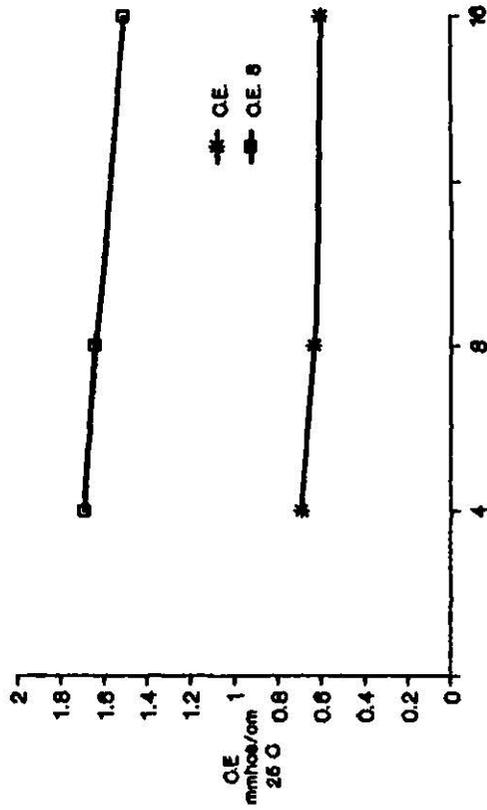
Después de los 4 días la CE disminuye ligeramente en el tratamiento donde solo se aplicó azufre (Figura 2 y Cuadro 2) La presencia de valores altos de CE se debieron probablemente a la formación de sales neutras solubles en agua (Alonso G. et al 1990) producto de la oxidación del azufre. Estos resultados son similares a los encontrados por Troyo D. (1984).

Las sales formadas por la oxidación del azufre en el suelo pueden ser sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) que al hidratarse puede formar yeso, el sulfato de Magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ), además el azufre también participa en la solubilización de las sales que no se encuentran solubles en el suelo como el  $\text{CaCO}_3$ , según Ordoñez A (1961).

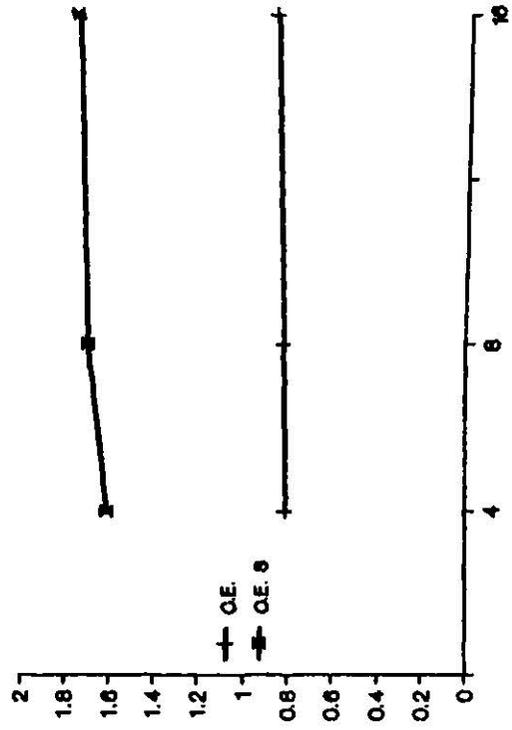
Estas sales se formaron por la presencia de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) y Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) en la solución del suelo. Así mismo por la reacción del ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) producto de la oxidación del azufre con el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de los suelos calcáreos (Pizarro F. 1978), según la reacción siguiente:



(a) 0 Nitrógeno



(b) 150 Kg de N. (urea).



### TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 2 Cambios de CE registrados en los tratamientos testigo (a) y los tratamientos que contenían urea (b), durante la hidrólisis y nitrificación de la urea, en el estudio para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.

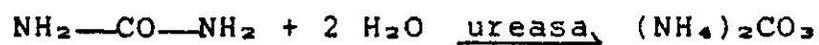
La CE alcanza su valor máximo a los 4 días, porque es en este momento donde ocurre la máxima producción de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  y esta tiende a disminuir a través del tiempo por la nitrificación del nitrógeno fertilizante y la volatilización del  $\text{NH}_3$ .

En el tratamiento testigo, la CE fué mucho menor que la encontrada en el tratamiento donde se aplicó azufre ( $\alpha=0.01$ , Cuadro 7A) a los 4 días de incubación, lo cual demuestra que ésta tiende a aumentar por la formación de sales solubles --- neutras debidas a la aplicación de azufre.

Se observó que la CE fué mayor cuando se aplicó urea mas azufre al suelo a los 4 y 8 días, siendo similares los valores encontrados a los 16 días; sin embargo estos valores no son estadísticamente significativos para el último tiempo de incubación (Cuadro 6A y Cuadro 8A). Aunque la CE es mayor, el pH del suelo es menos alcalino, permitiendo así la posibilidad de permanecer mayor tiempo el  $\text{NH}_4^+$  en el suelo.

Lo anterior se pudo deber a la gran cantidad de sales originadas por la urea, así como por el carbonato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , mas la cantidad de sales formadas por la aplicación de azufre como el sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) y el sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) en el tratamiento que se aplicó urea mas -- azufre.

Los valores bajos de CE encontrados cuando solamente se aplicó urea, estuvieron dados por la sal amoniaca  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ , producto de la misma urea, tal como se muestra en la siguiente reacción:



Sankhayan y Shukla (1976) citados por Pineda M (1980), - señalaron que la hidrólisis de la urea es lenta en suelos con alta CE, siendo esto acorde con las bajas cantidades de amonio encontradas y los valores de CE altos cuando se aplicó -- urea mas azufre.

Los resultados anteriores muestran que cuando se aplicó urea mas azufre, los valores de CE paresen ser los mas adecuados para retardar la hidrólisis de la urea, en donde el problema de sales debidas a los valores altos de CE se podran -- corregir con el agua de riego (Pizarro F. 1978).

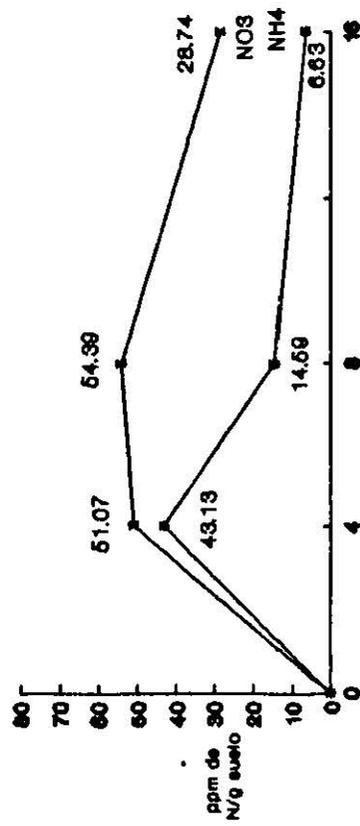
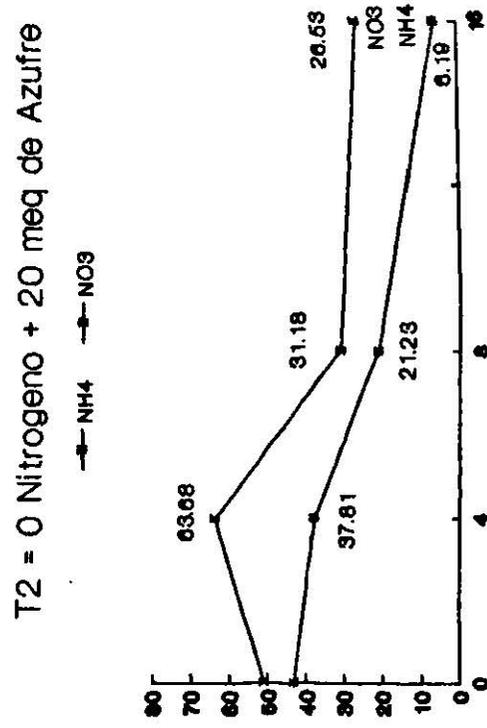
### 5.1.3. Producción de amonio.

El efecto de la hidrólisis de la urea sobre la produc--- ción de amonio através de las dosis de azufre y del tiempo de incubación se presentan en el Cuadro 2.

En las figuras 3 y 4 se muestra que a los 4 días de in-- cubación se produce la máxima cantidad de amonio y el comportamiento de esté después de 8 y 16 días de incubación.

Los resultados encontrados muestran que la formación de amonio proveniente de la materia orgánica del suelo se retardo através del tiempo de incubación cuando se aplicó solo azufre, ya que la producción de  $\text{N-NH}_4^+$  fué menor a los 4 días, comparada con la producción de  $\text{N-NH}_4^+$  del tratamiento testigo posteriormente se observó una disminución del amonio después de este tiempo de incubación.

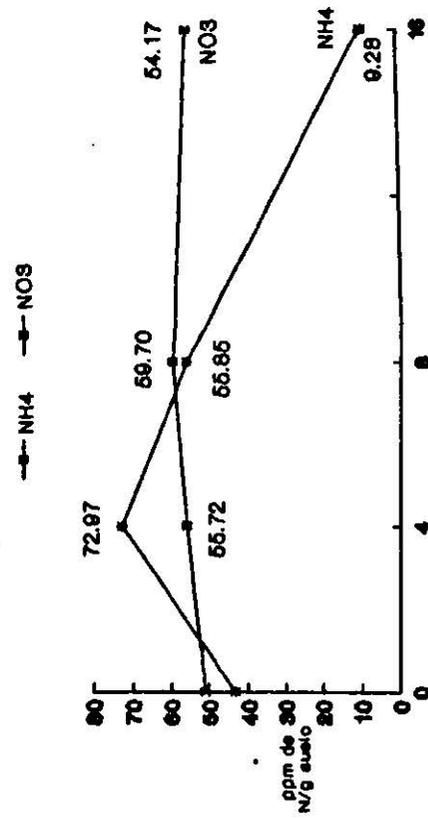
Mientras con la aplicación de urea sin azufre la acumu--



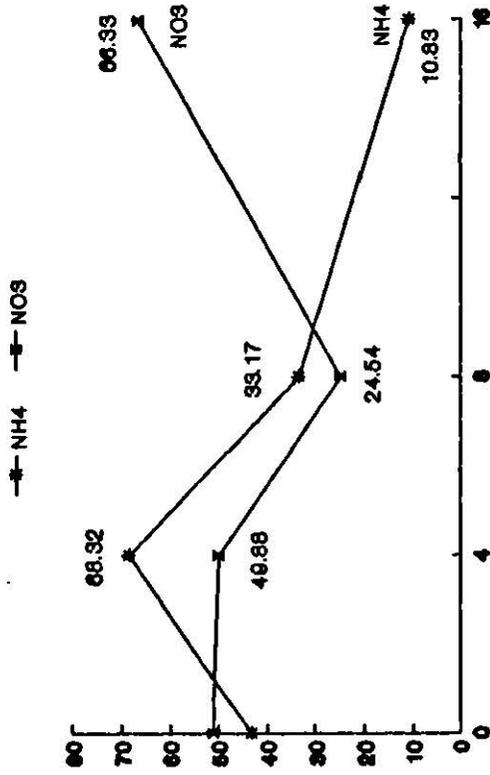
### TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 3 Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 1 y 2 a los 4, 8 y 16 días después de incubado el nitrógeno fertilizante.

T3= 150 kg de N. (urea) + 0 meq de Azufre.



T4 = 150 kg de N. (urea) + 20 meq de Azufre.



TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 4 Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 3 y 4 a los 4, 8 y 16 días durante la hidrólisis y nitrificación de la urea.

lación de amonio fué mayor a los 4 días y esta tiende a disminuir a través del tiempo de incubación debido a que la cantidad de N-ureico aplicado tiende a disminuir a través del tiempo y por consecuencia disminuye la cantidad de amonio.

A los 4 días la producción de amonio durante la hidrólisis de la urea fue menor cuando se aplicó urea mas azufre (Figura 4, estadísticamente diferente  $\alpha=0.01$ , Cuadro 9A). Esta producción de  $N-NH_4^+$  fué disminuyendo a través del tiempo de incubación debido a que el  $N-NH_4^+$  se transformo en  $N-NO_3^-$ . Sin embargo la producción de  $N-NH_4^+$  fué mayor cuando se aplicó solamente urea para el mismo tiempo de incubación (4 días) debido a una rápida hidrólisis de la urea, estadísticamente significativo  $\alpha=0.01$ , Cuadro 9).

En los tratamientos donde se aplicó urea y urea mas azufre se observó que la máxima producción de  $N-NH_4^+$  se presentó a los 4 días, siendo del 49% para el tratamiento donde solamente se aplicó urea y un 45% para el tratamiento donde se aplicó urea mas azufre. Estos resultados muestran que la hidrólisis de la urea fué retardada hasta 4 días después de la aplicación en base a los resultados obtenidos.

Sánchez A. (1989) en este mismo suelo observó que el tiempo requerido para que se hidrólise la urea fluctua entre 12-35 horas, sin embargo con la aplicación de azufre, el tiempo requerido para hidrolizar el 50% de la dosis se incrementó hasta 96 horas (4 días), aumentando con esto la posibilidad de permanencia del N en el suelo en forma de  $NH_4^+$  y así

un aumento en la eficiencia de la fertilización.

Durante la hidrólisis de la urea, la rápida formación de amonio a los 4 días, se pudo deber también a que los valores de pH encontrados en el suelo de estudio ( $x = \text{pH} = 7.56$ ) estuvieron dentro del intervalo óptimo de pH (7.0-8.5) para la actividad de la ureasa tal como fue sugerido por Beri et al (1978).

Se observó que la formación de amonio fue mayor a los 4 días en el tratamiento testigo que cuando se aplicó solo azufre al suelo, la cual tiende a disminuir drásticamente a través del tiempo. Así mismo se observó que el amonio encontrado cuando se aplicó solo azufre tiende a permanecer más a través del tiempo de incubación.

En todos los tratamientos una vez que se formó la máxima cantidad de  $\text{N-NH}_4^+$  a los 4 días, esta tiende a disminuir con el tiempo de incubación. Esta se puede explicar que a temperatura constante la cantidad de urea hidrolizada es directamente proporcional a la cantidad de urea en el suelo, además como el suelo no es un medio estático, la inmovilización, volatilización y nitrificación pueden suceder simultáneamente durante la hidrólisis de la urea (Ayanaba y Kany 1976). De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio es probable que la volatilización y nitrificación se presenten al mismo tiempo.

Se observó que con la aplicación de urea más azufre a una dosis de 20 meq/100 g suelo se retardó la hidrólisis de

la urea en base al comportamiento que presentó la producción de amonio (Figura 4 y Cuadro 3). Cooke (1983) y Foth D. (1985) reportaron resultados similares en el retardo de la hidrólisis de la urea.

Para evitar las posibles pérdidas de nitrógeno por volatilización en forma de amoníaco, resulta conveniente retardar la hidrólisis de la urea para provocar la liberación controlada del nitrógeno, disminución de las pérdidas por lixiviación y reducir la acumulación de amonio en el suelo (Figura 4), Nommik (1957) citado por Pineda M. (1980), Hans (1965), Díaz et al (1972), Addiscott y Cox (1976), Zamudio G. (1984) y Sanchez A. (1989).

## 5.2 Nitrificación de los fertilizantes.

La nitrificación de los fertilizantes se estudió midiendo pH, CE, comportamiento del amonio y la producción de nitratos después de la aplicación de urea, sulfato y nitrato de amonio con y sin azufre respectivamente.

Las variables anteriores se presentaran en el orden seguido anteriormente y se discutirán en forma separada.

### 5.2.1 pH.

El efecto de la nitrificación de los fertilizantes sobre el pH a través de las dosis de azufre y el tiempo de incubación se presenta en el Cuadro 2 y la Figura 1.

Se observó que en forma general los valores de pH siempre fueron menores cuando se aplicó sulfato de amonio y nitrato de amonio más azufre. Siendo significativo ( $\alpha = 0.05$ )

Cuadro 3 Resultados promedio de amonio y nitratos (ppm) encontrados durante la hidrólisis de la urea a los 4, 8 y 16 días después de la aplicación.

Tratamientos		DIAS DE INCUBACION					
		4		8		16	
µg N/g suelo	meq S/100g suelo	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1.	0 Nitrógeno + 0 Azufre	43.13	51.07	14.59	54.39	6.63	28.74
2.	0 Nitrógeno + 20 Azufre	37.81	63.68	21.23	31.18	6.19	26.53
3.	150 Urea + 0 Azufre	72.97	55.72	55.85	59.70	9.28	54.17
4.	150 Urea + 20 Azufre	68.32	49.88	33.17	24.54	10.83	66.33

sólo para los primeros 4 días y no así para los 8 y 16 días, Cuadro 5A.

Los resultados indican que fue menor el pH a los 4 días cuando se aplicaron los fertilizantes con azufre ( $\alpha = 0.05$ ) y Cuadro 6A, que cuando no se aplicó azufre (Figura 5), siendo más marcado el descenso de pH cuando se aplicó nitrato de amonio que cuando se aplicó sulfato de amonio, Cuadro 2.

Lo anterior se explica debido al doble efecto acidificante provocado por el nitrato de amonio y por el azufre agrícola. Este efecto fue menor con la aplicación de sulfato de amonio, ya que en este caso el pH fue de 7.29 y 7.54 con y sin la aplicación de azufre respectivamente, Cuadro 2.

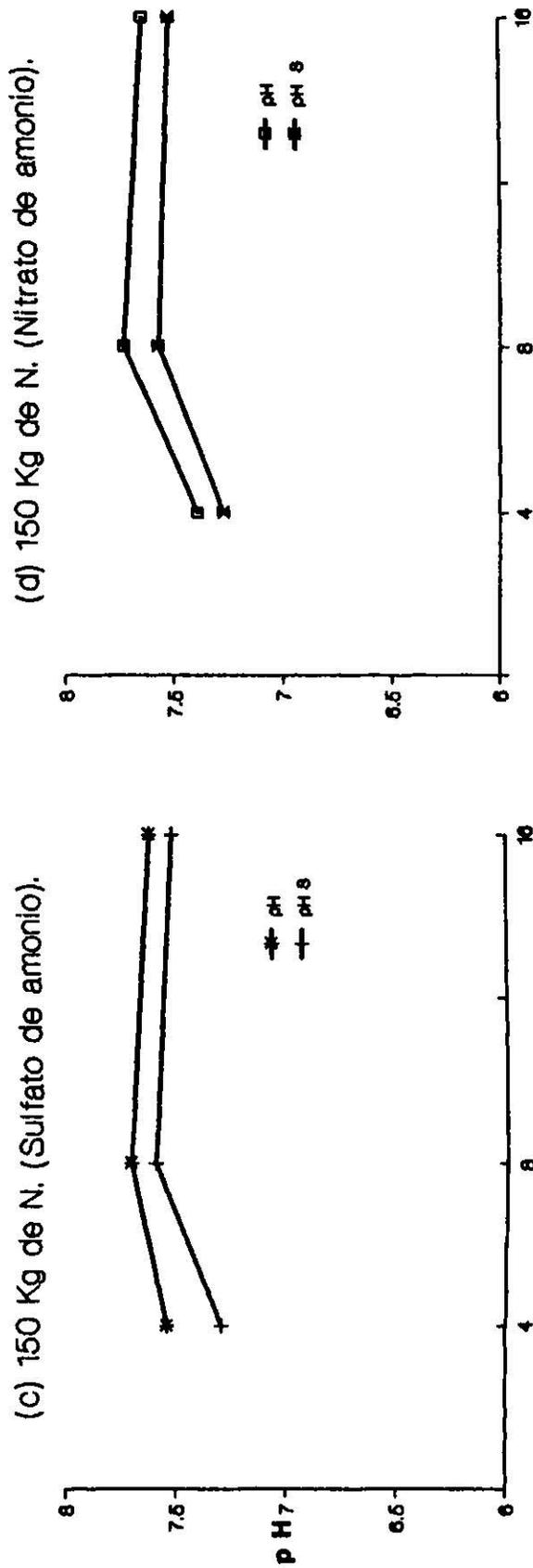
Así mismo, se observó que el efecto del sulfato de amonio sobre el pH a los 8 y 16 días sin azufre (7.72 y 7.62 respectivamente) fue similar al pH encontrado para el nitrato de amonio sin azufre (7.73 y 7.63 respectivamente), Figura 5.

A los 8 y 16 días, el pH fue menor cuando se aplicó nitrato de amonio mas azufre que cuando se aplicó sulfato de amonio mas azufre, debido talvez a que el nitrato de amonio presenta el índice de acidez más alto (120.6, Cuadro 10A del Apéndice), mas el efecto acidificante del azufre.

### 5.2.2 Conductividad eléctrica (CE).

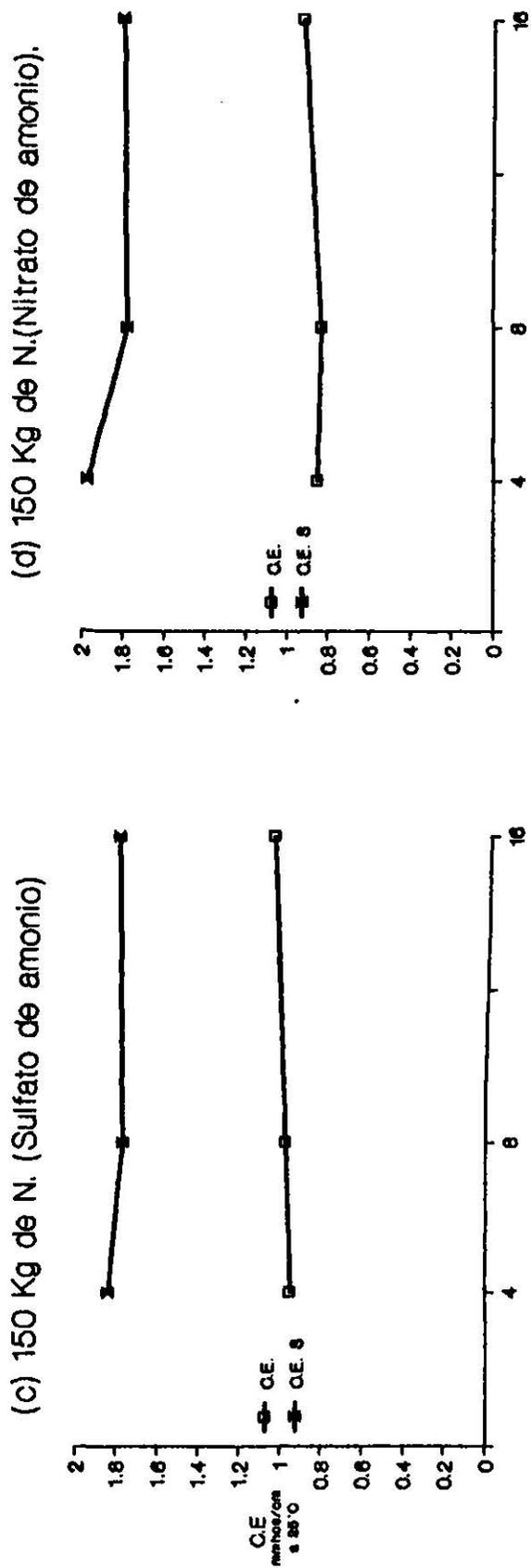
Los cambios registrados en esta variable durante la nitrificación de los fertilizantes se observan en el Cuadro 2 y en la Figura 6.

Los valores más altos de CE se presentaron cuando se a--



TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 5 Cambios de pH registrados durante la nitrificación del sulfato de amonio (c) y nitrato de amonio (d), para tratar de observar el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.



TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 6 Cambios de CE registrados durante la nitrificación del sulfato de amonio (c) y nitrato de amonio (d), en el estudio para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.

plicó sulfato de amonio y nitrato de amonio mas azufre (S.A: 1.84, 1.77 y 1.80; N.A: 1.97, 1.78 y 1.80 respectivamente), - asi mismo el nitrato de amonio presentó la mayor CE a los 4 - días, que cuando se aplicó sulfato de amonio, contrario a lo anterior los valores menores se presentaron cuando se aplica- ron los mismos fertilizantes pero sin azufre, la cual tiende a aumentar através del tiempo de incubación (4, 8 Y 16 días), Figura 6.

El aumento de la CE através del tiempo de oxidación pue- de ser ocasionado al reaccionar las sales del amonio y las -- del azufre ( $\text{CaSO}_4$ ) con el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) de los suelos calcáreos.

Se observó que a los 4 días se presentaron los valores - más altos de CE (1.84 y 1.97) para el sulfato y nitrato de a- monio respectivamente. La CE alta se debio posiblemente por - la producción de sales originadas por el sulfato y nitrato de amonio mas la cantidad de sales solubles en agua producidas - por la oxidación del azufre.

Después de 8 días, cuando se aplicó sulfato y nitrato de amonio mas azufre la CE tiende a disminuir posiblemente por - los valores altos de pH (Cuadro 2) encontrados; ya que los -- resultados presentados por Sánchez A. (1989) al trabajar so-- bre este mismo suelo; señalan que durante la primera semana después de la aplicación de ambos fertilizantes se presenta-- ron las mayores pérdidas por volatilización y por consecuen-- cia una disminución en la producción de nitratos.

A los 16 días, la CE presenta una tendencia a aumentar, cuando se aplicó sulfato de amonio mas azufre (Figura 6) debido a un aumento en la producción de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

La CE aumentó através del tiempo en los tratamientos --- donde se aplicó sulfato y nitrato de amonio en ausencia de azufre, debido al aumento de la producción de  $\text{NO}_3^-$  através del tiempo, principalmente a los 16 días de incubación .

En base a los resultados anteriores y de acuerdo a la -- mayor producción de  $\text{NO}_3^-$  encontrados cuando se aplicó sulfato y nitrato de amonio en ausencia de azufre, parece ser que estos valores son los más adecuados para la nitrificación de -- los fertilizantes. Aunque dichos valores de CE presentan un -- riesgo por salinidad ya que estos valores (4.95 en promedio -- para el sulfato de amonio y 4.3 para el nitrato de amonio) -- estan sobre el limite marcado de salinidad ( $\leq 4$  mmhos/cm a 25 °C) Allison L. y colaboradores (1985) y Ortega T. (1981).

### 5.2.3 Comportamiento del amonio.

Las cantidades de amonio encontradas durante la nitrificación de los fertilizantes se presentan en el Cuadro 4.

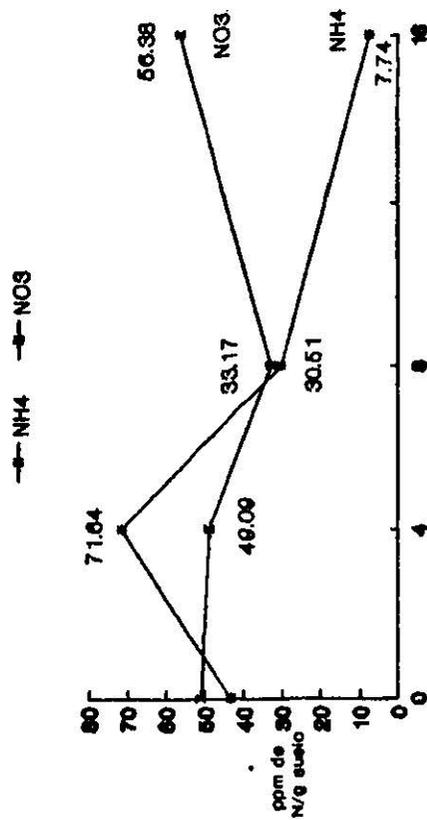
En las figuras 7 y 8 se muestra el comportamiento del --  $\text{NH}_4^+$  proveniente del sulfato de amonio, el nitrato de amonio y urea durante el estudio de la nitrificación.

El comportamiento del  $\text{NH}_4^+$  cuando se aplicó sulfato de -- amonio sin azufre fué casi similar al producido por la urea -- sin azufre durante la nitrificación de los fertilizantes Cuadro 2, no asi para el nitrato de amonio sin azufre el cual --

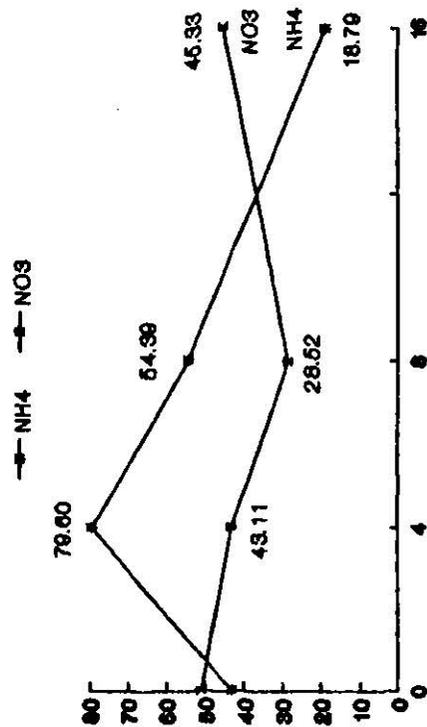
**Cuadro 4** Resultados promedio de amonio y nitratos (ppm) encontrados durante la nitrificación del sulfato y nitrato de amonio a los 4, 8 y 16 días después de la aplicación.

Tratamientos		DIAS DE INCUBACION					
		4		8		16	
$\mu\text{g N/g suelo}$	meq S/100g suelo	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$
5.	150 Sulfato de amonio + 0 Azufre	71.64	49.09	30.51	33.17	7.74	56.38
6.	150 Sulfato de amonio + 20 Azufre	79.60	43.11	54.39	28.52	18.79	45.33
7.	150 Nitrato de amonio + 0 Azufre	35.82	38.47	17.25	39.14	16.58	64.12
8.	150 Nitrato de amonio + 20 Azufre	28.52	35.16	23.22	36.49	6.63	29.85

T5 - 150 kg de N. (S.A) + 0 meq de Azufre.



T6 - 150 kg de N. (S.A) + 20 meq de Azufre.

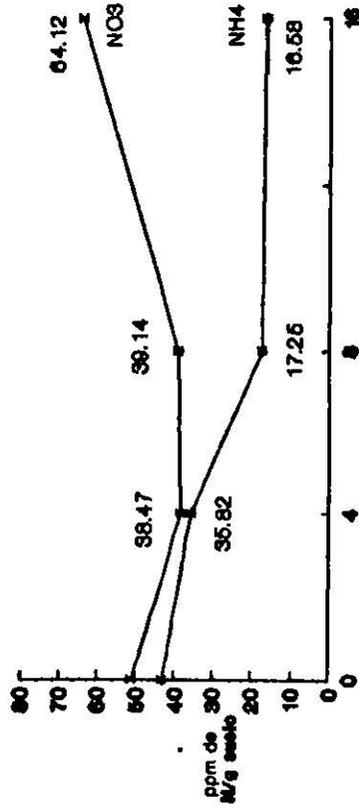


TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 7 Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 5 y 6 a los 4, 8 y 16 días durante la nitrificación del sulfato de amonio.

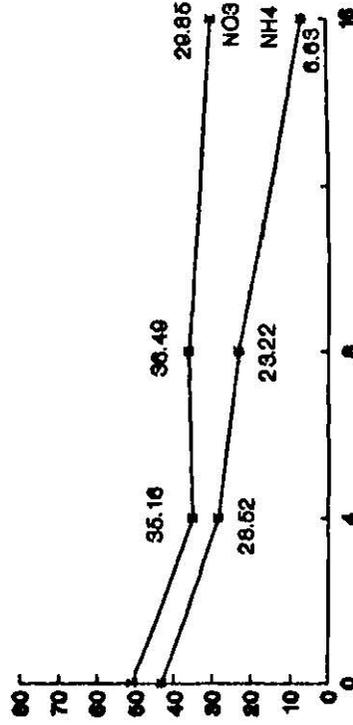
T7 - 150 kg de N. (N.A) + 0 meq de Azufre.

—■— NH4 —■— NOS



T8 - 150 kg de N. (N.A) + 20 meq de Azufre.

—■— NH4 —■— NOS



### TIEMPO DE INCUBACION (DIAS)

Figura 8 Cantidad de amonio y nitratos encontrados en los tratamientos 7 y 8 a los 4, 8 y 16 días durante la nitrificación del nitrato de amonio.

presentó una menor producción de  $\text{NH}_4^+$ , en su comportamiento.

A los 4 días se observó que el amonio permaneció en un 5% más cuando se aplicó sulfato de amonio mas azufre que --- cuando no se aplicó este compuesto, no siendo así para la u--- rea la cual disminuyó en un 3% la cantidad de  $\text{NH}_4^+$  cuando se aplicó junto con azufre. Debido probablemente a una inhibición del azufre en la formación de amonio.

Esto se pudo deber a que como disminuyó el pH cuando se aplicó el sulfato de amonio más azufre (Cuadro 2) la cantidad de  $\text{NH}_4^+$  aumentó, ya que un pH ácido provoca que el amonio --- permanezca más en el suelo. Sin embargo cuando se aplicó sulfato de amonio sin azufre el pH aumentó y por consecuencia la acumulación de  $\text{NH}_4^+$  fué menor. Estos resultados son similares a los encontrados por Sánchez A. (1989).

Posteriormente se observó que la cantidad de  $\text{N-NH}_4^+$  --- producto de la aplicación de sulfato de amonio con y sin azufre disminuyó a través de los 8 y 16 días. Esta disminución -- fué menos marcada con la aplicación del sulfato de amonio mas azufre (Figura 8).

La disminución del  $\text{N-NH}_4^+$  ocurrida durante la nitrificación del sulfato de amonio a través de los 8 y 16 días fué debido a que el  $\text{NH}_4^+$  pasa a formar nitratos o también porque -- puede quedar fijado o adsorbido en las arcillas del suelo.

Fué mayor la cantidad de amonio que permaneció en el --- suelo cuando se aplicó sulfato de amonio mas azufre durante - los 3 tiempos de incubación (Cuadro 4) lo cual se pudo deber

a que este tratamiento presentó los valores de pH más bajos (7.29, 7.61 y 7.52) en comparación con los pH's encontrados cuando se aplicó sulfato de amonio sin azufre (7.54, 7.62 y 7.62), posiblemente originados por el efecto acidificante del propio sulfato de amonio mas el efecto acidificante del azufre, así mismo se presentaron los valores de CE más altos originados por la acumulación de sales, tanto del sulfato de amonio como del azufre.

La acumulación de sales origina valores altos de CE por lo cual tiende a disminuir el pH del suelo siempre y cuando dichas sales sean sulfato de calcio o sulfato de magnesio ( $\text{CaSO}_4$  y  $\text{MgSO}_4$ ), bajo estas condiciones el pH provoca que el  $\text{NH}_4^+$  permanezca en el suelo.

Cuando se aplicó nitrato de amonio unicamente al suelo, se observó que la cantidad de amonio disminuye por efecto de la nitrificación, este efecto es más marcado a partir de los 8 días de incubación, mientras que cuando este fertilizante se aplicó en presencia de azufre se observa que la cantidad de  $\text{NH}_4^+$  disminuye en el suelo debido a una volatilización del nitrógeno, ocasionando finalmente que disminuya la cantidad de  $\text{NO}_3^-$ .

#### 5.2.4 Producción de nitratos.

El efecto de la hidrólisis de la urea sobre la producción de nitratos através de las dosis de azufre y el tiempo de incubación se presenta en el Cuadro 3.

Se observó que la nitrificación comienza desde los pri--

meros 4 días de incubación, alcanzando su valor máximo a los 16 días. Estos resultados son similares a los encontrados por Sánchez A. (1989).

Cuando se aplicó solamente urea, la producción de nitratos también comienza desde los primeros 4 días y tiende a ser constante a través del tiempo de incubación (8 y 16 días) solo con un ligero aumento a los 8 días, debido posiblemente a que la producción de  $\text{NH}_4^+$  se incrementó 4 días antes.

Los resultados encontrados muestran que en forma general la producción de nitratos siempre fue arriba de la producción de amonio, mientras que la producción de  $\text{NO}_3^-$  fue mayor cuando se aplicó solamente urea que cuando se aplicó urea mas azufre, en los tratamientos testigo y donde se aplicó solamente azufre, Figura 3 y Cuadro 3.

De igual forma al aplicar urea mas azufre la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  fue menor que la encontrada cuando se aplicó solamente urea al suelo (Figura 4).

Cuando se aplicó solamente azufre la producción de  $\text{NO}_3^-$  fue menor que la que se encontró en el tratamiento testigo (Figura 3).

La producción de  $\text{N-NO}_3^-$  proveniente del N-ureico hidrolizado fue muy similar para los 3 tiempos de incubación cuando solamente se aplicó urea (Figura 4 y Cuadro 3).

Esto se puede explicar a que una gran acumulación de amonio proveniente de la urea ocasiona la esterilización del suelo reflejada en la ausencia de organismos nitrificantes en

el suelo (Alexander 1965) y por consecuencia una menor cantidad de  $\text{NO}_3^-$ . Por otra parte cuando se aplicó urea mas azufre se observó que la producción de  $\text{N-NO}_3^-$  decrece drásticamente a los 8 días, para luego aumentar a los 16 días de incubado - el  $\text{N-ureico}$  (Figura 4; estadísticamente no es diferente , --- Cuadro 11A).

La baja producción de  $\text{N-NO}_3^-$  a los 8 días se pudo deber al pH que presentó el suelo, el cual se encuentra fuera del - rango óptimo para la nitrificación ( $\text{pH}=6.5-7.6$ ) y ésta se inhibe por la toxicidad del amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), Frederick y Brad--- bent (1966) citados por Kissel et al (1985). El aumento de la producción de  $\text{N-NO}_3^-$  a los 16 días se debió posiblemente a que este es el tiempo en que ocurre la máxima producción de - nitratos y talvez las pérdidas de nitrógeno por volatiliza--- ción ya no sean tan importantes de acuerdo a la acidez gene--- rada por el azufre. Estos resultados son similares a los re--- portados por Sánchez A. (1989).

La producción de  $\text{N-NO}_3^-$  en el tratamiento testigo disminuyó através del tiempo de incubación debido a la descomposición de la materia orgánica. Aunado a lo anterior la disminución del  $\text{N-NH}_4^+$ , hace suponer que bajo las condiciones natu--- rales del suelo se establece un balance natural entre las --- bacterias amonificantes y nitrificantes (Teuscher y Adler, 19 80) originando que la producción de  $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$  disminuya casi paralelamente.

El efecto de la nitrificación de los fertilizantes sobre

la producción de nitratos a través de las dosis de azufre y el tiempo de incubación se presenta en el Cuadro 4.

En las Figuras 7 y 8 se muestra la producción de nitratos a través del tiempo de incubación cuando se aplicó sulfato y nitrato de amonio con ó sin azufre.

La producción de nitratos durante la nitrificación del sulfato de amonio fué menor cuando se aplicó este fertilizante sin azufre que cuando se mezcló con azufre, tal como se muestra en la Figura 7 y el Cuadro 4. Esta baja producción de nitratos se debe posiblemente a que el azufre parece intervenir en la inhibición de la formación de los  $\text{NO}_3^-$  (Thompson, 1966) por la formación del ion sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), tal como fué demostrado por Campino (1982) cuando encontró que el sulfato redujó la tasa de nitrificación.

Los resultados experimentales obtenidos indican que la nitrificación se inició desde los primeros 4 días, alcanzando su valor máximo a los 16 días cuando se aplicó sulfato de amonio con ó sin azufre.

Cabe señalar que la formación de nitratos disminuyó a los 8 días tanto para el sulfato de amonio con y sin azufre. Esta disminución se debe posiblemente a la toxicidad causada por el amoníaco en solución proveniente del sulfato de amonio sobre las bacterias Nitrosomonas (Smith, 1967 citado por Flowers y O'Callaghan 1983) responsable de la oxidación del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_2^-$ , justificandose lo anterior con un aumento en el pH y una disminución de la producción de  $\text{NO}_3^-$ , tal como se observa

en el Cuadro 2.

Por otra parte se observó que la producción de  $\text{NO}_3^-$  durante la nitrificación del nitrato de amonio también fue menor cuando se aplicó este fertilizante con azufre (Cuadro 4).

Lo anterior se pudo deber al efecto tóxico que ocasiona el azufre sobre la nitrificación, cuando éste se mezcla con fertilizantes que contienen nitratos, tal como lo señalan Fraps y Fudge (1936), citados por Ordoñez A. (1961).

La producción de  $\text{NO}_3^-$  comenzó desde los primeros 4 días cuando se aplicó nitrato de amonio sin azufre, la cual tiende a incrementarse a los 8 días para después alcanzar su valor máximo a los 16 días de incubación tal como se observa en la Figura 8 y el Cuadro 2. Esto es afirmado por Kissel *et al* (1985) quien señala que fuentes nitrogenadas con efecto residual ácidas como el sulfato y nitrato de amonio, pueden nitrificar más rápido inmediatamente después de su aplicación sobre suelos calcáreos, debido a la capacidad de amortiguamiento del pH del suelo ejercida por el carbonato de calcio.

Sin embargo cuando el nitrato de amonio fue aplicado junto con el azufre se observó que la producción de nitratos tiende a disminuir a través del tiempo, debido al medio tóxico que se forma para el amonio cuando este fertilizante es mezclado con azufre, Fraps y Fudge (1936), citado por Ordoñez A. (1961).

La disminución de la producción de nitratos es casi paralela a la disminución del amonio a través del tiempo de incubación.

ción (Figura 8), debido a la volatilización del  $\text{NH}_4^+$  causada por la disminución de la CE y el pH alcalino del suelo.

En base a los resultados obtenidos durante la nitrificación de los fertilizantes, se observó que independientemente de la fuente fertilizante, la producción de  $\text{NO}_3^-$  disminuyó -- cuando el sulfato y nitrato de amonio se aplicaron junto con azufre (Cuadro 4).

Esta disminución pudo ser causada por alguna de las si-- guientes razones: i) por el medio toxico que se forma para -- las bacterias nitrificantes cuando el azufre es mezclado con fertilizantes que contienen nitratos, ii) por el efecto que -- tiene el azufre como reductor del pH del suelo, pero tambien por la intervención del azufre en la disminución de los ni--- tratos del suelo.

Por otra parte, la disminución de los nitratos durante -- la nitrificación del sulfato de amonio se debio posiblemente a la reducción de la población de organismos nitrificantes o-- casionada por la acumulación del amonio (Castro Z. 1978), --- mientras que la disminución de los nitratos cuando se aplicó urea tambien estuvo dada por el mismo efecto.

Al hacer una comparación entre los fertilizantes cuando no se aplicó azufre se observó que solamente el sulfato de a-- monio produjo la mayor cantidad de nitratos a los primeros 4 días, siendo la mayor producción de nitratos a los 8 y 16 --- días para el nitrato de amonio. Lo anterior se pudo deber a -- que el sulfato de amonio presenta una concentración menor de

nitrógeno (20.5%) que la que presenta el nitrato de amonio -- (33.5%), Cuadro 10A del Apéndice.

Sumando las cantidades de  $\text{NO}_3^-$  que se produjeron con la aplicación de cada fertilizante con y sin azufre, se encon--- traron los siguientes resultados: cuando se aplicaron los --- fertilizantes en ausencia de azufre, la urea presentó la ma--- yor producción de nitratos (169.59 ppm) siguiendo en orden -- descendente el nitrato de amonio (141.73 ppm) y finalmente el sulfato de amonio con 138.64 ppm. Mientras que cuando se a -- plicaron las fuentes fertilizantes con azufre la urea siguió presentando la mayor producción de nitratos (140.75 ppm), si- guiendole ahora el sulfato de amonio (116.96 ppm) y finalmen- te el nitrato de amonio con la menor producción (101.5 ppm), Figura 10. Sin embargo los resultados encontrados con y sin - la aplicación de azufre, fueron estadísticamente no signifi-- cativos, Cuadro 12A.

En base a los resultados anteriores se observó que la u- rea presentó la mayor nitrificación en comparación con las -- otras dos fuentes fertilizantes con y sin la aplicación de a- zufre (estadísticamente no significativo, Cuadro 12A), tal -- vez debido a su alta concentración de nitrógeno (46%), Cuadro 10A del Apéndice y por consecuencia una mayor producción de - amonio (Figura 9).

El azufre parece tener efecto sobre las tres fuentes fer-- tilizantes utilizadas en el experimento, ya que para las tres fuentes fertilizantes la producción de nitratos disminuyó, --

# PRODUCCION ACUMULADA DE AMONIO

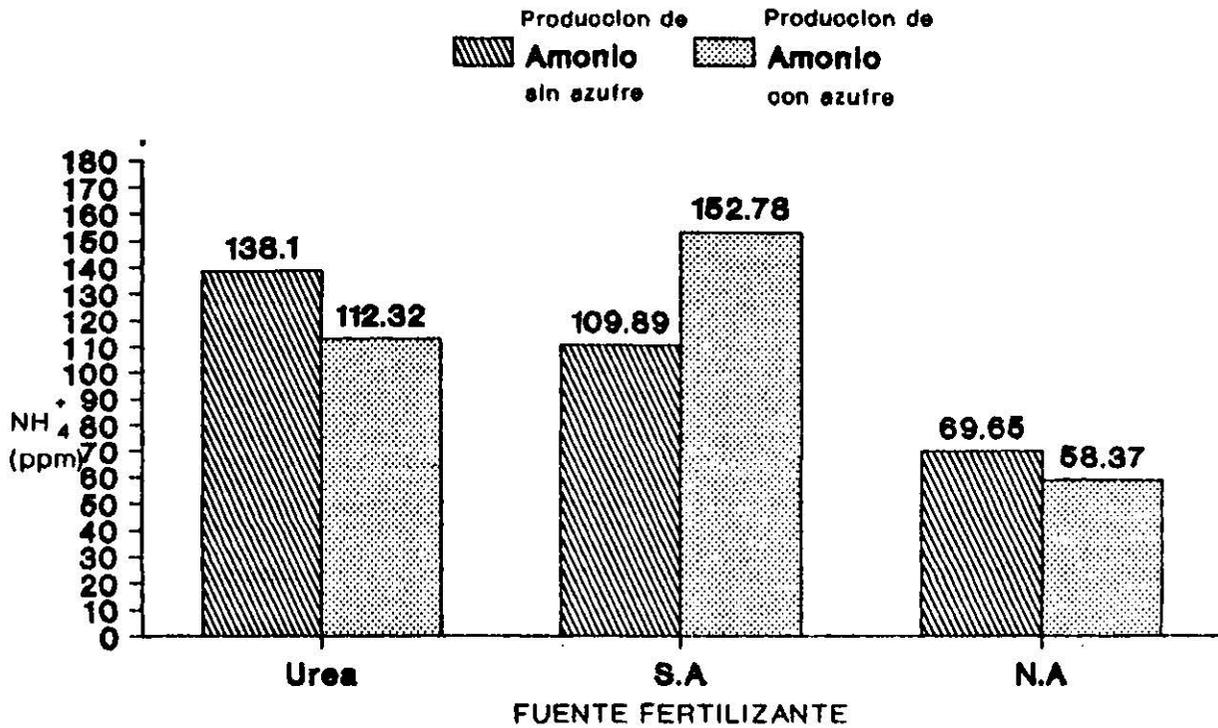


Figura 9 Amonio acumulado por las tres fuentes nitrogenadas durante el experimento para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de las mismas en suelos de Marín, N.L.

# PRODUCCION ACUMULADA DE NITRATOS

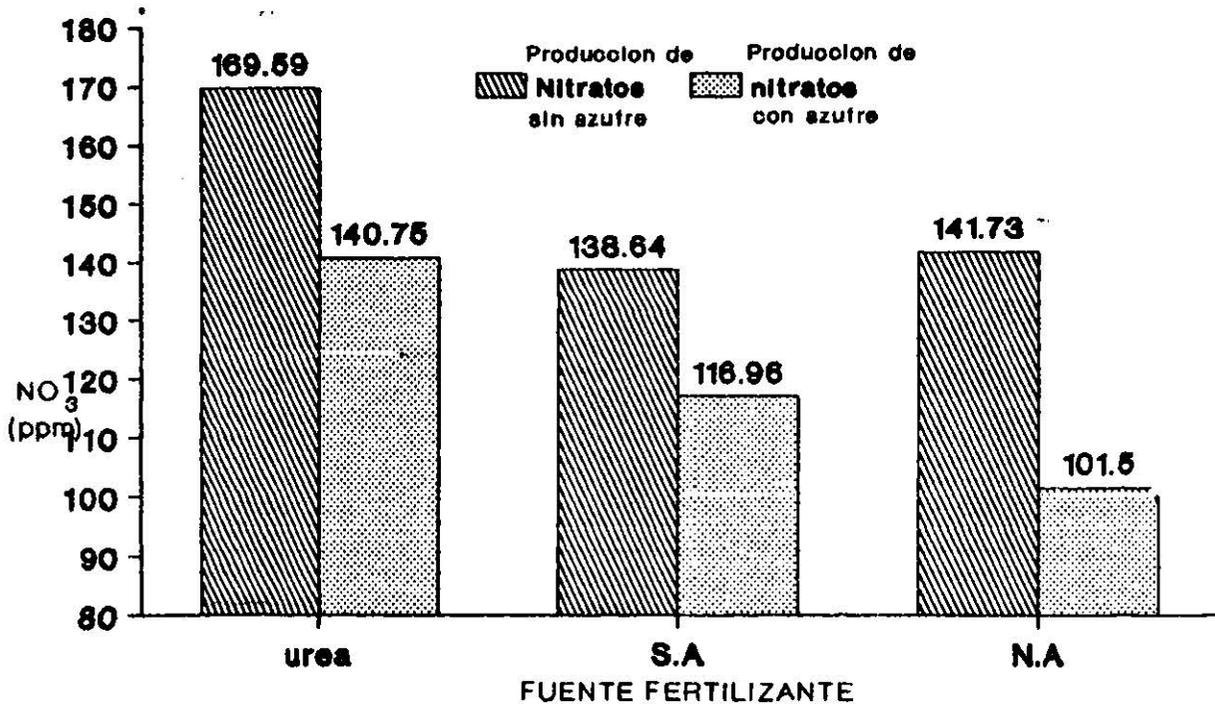


Figura 10 Nitrato acumulado por las tres fuentes nitrogenadas en el experimento para conocer el efecto del azufre sobre las mismas, en suelos de Marín, N.L.

pero presentó mayor permanencia del  $\text{NH}_4^+$ . Cabe señalar que en los tratamientos que se aplicó urea mas azufre, sulfato de amonio con y sin azufre y nitrato de amonio sin azufre, no se observa el punto máximo de producción de nitratos (Figuras 4, 7 y 8) debido a que el período total de incubación (16 días) fué muy corto.

Asi mismo, se observó que la permanencia del  $\text{NH}_4^+$  a través del tiempo fué mayor cuando se aplicó sulfato de amonio mas azufre, siguiendole en orden descendente urea mas azufre y el nitrato de amonio mas azufre.

Finalmente se observó que en forma general el azufre --- presentó un mayor efecto acidificante sobre el nitrato de amonio, siguiendole en forma descendente el sulfato de amonio y la urea.

Una de las ventajas que proporciona la mayor permanencia del amonio en el suelo, es que permite que el nitrógeno en su forma aprovechable para la planta ( $\text{NO}_3^-$ ) se encuentre por un período más largo de tiempo en el suelo y de ésta forma aumentar la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados en los suelos calcáreos. Asi mismo, es de gran utilidad el medio ácido del suelo ocasionado por el efecto acidificante del azufre, ya que permite disminuir las pérdidas de N por volatilización.

## 6. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones experimentales en las que se desarrolló el presente estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La aplicación de fertilizantes nitrogenados en presencia de azufre acidifica el pH del suelo, siendo más marcado este efecto al utilizar como fuente nitrato de amonio, -siguiendole en orden descendente el sulfato de amonio y la urea, lo cual permitió disminuir las pérdidas de nitrógeno por volatilización.
2. El azufre incrementó la CE del suelo significativamente ( $\alpha=0.01$ ) al oxidarse el azufre y formar sales con el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); ésta disminuyó hasta los 8 días en un 34% (significativamente  $\alpha=0.01$ ), para que después de este tiempo tienda a mantenerse constante.
3. La aplicación de urea mas 20 meq de azufre/100 g de suelo, retardó la hidrólisis de la urea de 36 a 96 horas, -aumentando con esto la permanencia del  $\text{N-NH}_4^+$  en el suelo y evitando así las pérdidas por volatilización y lixiviación, lo cual aumentará la eficiencia del fertilizante ureico.
4. La producción de  $\text{NO}_3^-$  durante la nitrificación de la urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio, fué menor cuando se mezclaron con azufre (no significativo), debido a la inhibición del azufre sobre la formación de ----

$\text{NO}_3^-$ . Sin embargo la urea presentó la mayor producción de nitratos que las otras fuentes fertilizantes (no --- significativo).

5. La producción de  $\text{NO}_3^-$  no presentó un nivel máximo, debido al corto período de incubación.

## 7. RECOMENDACIONES.

1. Debido a que el periodo de observación fué muy corto --- (16 días), los tratamientos no presentaron el punto má-- ximo de producción de nitratos; se recomienda que en --- próximos trabajos de investigación se amplie el tiempo - de incubación.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- Aburto, B.S, J.J. 1987. Oxidation of agricultural sulphur by two species of Thiobacillus, Thesis of Master of Science in Agronomy. New México State University. Las Cruces New, México. 71 p.
- Addiscott, T.M and Cox, D. 1976. Winter leaching of nitrate from autumn applied calcium nitrate, ammonium sulphate, urea and sulphur coated urea in base soil. Jour. of Agri. Science. 87:381-389.
- Alexander, R. M. 1965. Nitrification in Soil. IN: Soil Nitrogen. Madison, Wisconsin. A.S.A. pp.123-129.
- Alonso, G.P; C.M. Rafael, G.A. Jose y O.C. Eloisa. 1990. Química, primera edición, editorial McGraw-Hill. Madrid - España. pp.196-203.
- Allison, L.E. et al. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de suelos salinos y sódico. Editorial Limusa. Traducción de U.S.D.A. Handbook # 60. México. pp. 3, 5, 8-13.
- Ayanaba, A. and B. T. Kang. 1976. Urea transformation in some tropical soil. Soil Bio. Biochem. 8:313-316.
- Beri, V; K. P. Goswami and S. S. Brar. 1978. Urease activity and its Michaelis constant for soil systems. Plant and Soil. 49:105-115.
- Bremner, J. M. and L. A. Douglas. 1971. Descomposición de urea phosphate in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35:575-578.

- Bremner, J. M. 1965. Inorganic Forms of Nitrogen. IN: Methods of soil analysis physical and mineralogical, properties, Including Statistics of Measurement and Sampling. Amer. Soc. of Agronomy Inc. 9:1191-1205.
- Boswell, F. C, J. J. Meisinger and N. L. Case. 1985. Nitrogen fertilizers. IN: Fertilizer technology and use. Engelstad, O.P. ed. SSSA. Madison, Wisconsin USA. pp. 254-271.
- Buckman, H. O. and N. Brady. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. UTHEA, México. pp: 135-144, 426-435.
- Campino, I. 1982. The effect of superphosphate and potassium fertilizer and salts on the nitrogen mineralization of incubated meadow. Soil Fertilizer Research 3:325-336.
- Cassman, K. G. and D. N. Munns. 1980. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. Soil. Sci. Soc. Amer. J. 44:1233-1237.
- Castro, Z.R. 1978. La eficiencia de la urea con respecto al sulfato y nitrato de amonio en Maíz de Temporal. Tesis M.C, Colegio Postgraduados, Chapingo México. 155pp.
- Chandra, P. 1962. Consecutive steady reactions of urea, ammonium and nitrite nitrogen in soil. Canadian Journal of Soil Science. 42:314.
- Charley, L.J and West, N.E. 1977. Micro-patterns of nitrogen mineralizing activity in soil of some shrub-dominated-semidesert ecosystem of Utah. Soil. Biol. and Bio-

- chem. 9:357-359.
- Cooke, G.W. 1983. Fertilización para rendimientos máximos. -- primera edición, editorial Continental, México. pp.91- y 92.
- Díaz, F.F, Vazquez, M. y Guitian, O.F. 1972. Influencia del - tipo de fertilización sobre el balance del Nitrógeno - en suelos de Galicia. Analisis de Edafología y Agro--- biología. 31:939-954
- Eriksen, A. B. and M. Kjeldby. 1987. A comparative study of - urea hydrolysis rate and ammonia volatilization from - urea and urea calcium nitrate. Fertilizer Research. - 11:9-24.
- Fisher, W. B. and W. L. Parks. 1958. Influence soil tempera- ture on urea hydrolysis on subsequent nitrification. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 22:247-254.
- Flowers, T. H. and P. W. Arnold. 1983. Inmovilization and mi- neralization of nitrogen in soils incubated with pig - slurry or ammonium sulphate. Soil. Biol. Biochem. 15: 329-335.
- Flowers, T. H. and J. R. O'Callaghan. 1983. Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. Soil. Biol. Biochem. 15:337-342.
- Foth, D.H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Tercera edición, editorial C.E.C.S.A; México. pp.320,325-328.
- Gomez J, D. J. 1974. Estudio comparativo de velocidades de Ni trificación en suelos de General Escobedo y Linares --

- N.L. utilizando cinco fuentes diferentes de Nitrógeno. Tesis profesional. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. -- México. 41 p.
- Gordon, A. M, M. Tallas and K. Van Cleve. 1987. Soil incuba-- tions in polyethylene bags; effect of bag thickness -- nd temperature on Nitrogen transformation and CO<sub>2</sub> --- Permeability. Can. J. Soil Sci. 67:65-75.
- Guzman C, I. 1981. Ecuaciones de predicción de las constantes Hidricas (CC y PMP) a partir de la textura de la capa arable de los suelos del Edo. de Nuevo León, Tesis --- profesional. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. México. - 53 p.
- Hans, N. 1965. Ammonium fixation and other reactions invol--- ving a nonenzimatic inmovilization of mineral nitrogen in soils. In. Soil. Nitrogen. Madison, Wisconsin. ---- A.S.A. pp.37-43.
- Jayaram, N. 1978. Distribution of forms of sulphur in some -- acid solid of Karnataka and response of sun flower --- (Helianthus annus L.) to sulphur aplication. Field --- Crops Abstracts. 33(11):976.
- Keith, J. J. and R. L. Smith. 1962. Nitrification of ammonium sulphate in calcareus soil as influenced by combina--- tions of moisture, temperature and levels of added Ni- trogen. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 26:246-250.
- Kissel, D. E; D. H. Sander and R. Ellis. 1985. Fertilizer---- plant interactions in alkaline soils. IN: Fertilzer --

- technology and Use. Engelstad O.P. ed. SSSA. Madison, Wisconsin USA. 3:136-147.
- Kumar, V. and R. J. Wagenet. 1984. Urease activity and kinetics of urea transformation in soils. Soil Science. 137:263-269.
- Ladd, J. N. and R. B. Jackson. 1982. Biochemistry of Ammonification IN: Nitrogen in Agricultural Soils. Stevenson F. J. ed. ASA, CSSA, SSSA. Madison Wisconsin USA. 5: 155-161.
- Magalhaes, A. M. T, D. W. Nelson and P. M. Chalk. 1987. Nitrogen transformations during hydrolysis and nitrification of urea. 1. Effect of soil properties and fertilizer placement. Fertilizer Research. 11:161-172.
- Magalhaes, A. M. T. and P. M. Chalk. 1987. Nitrogen Transformations during hydrolysis and nitrification of urea. 2. Effect of fertilizer concentration and nitrification inhibitors. Fertilizer Research. 11:173-184.
- Malhi, S. S. and W. B. McGill. 1982. Nitrification in three Alberta soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration. Soil. Biol. Biochem. 14:393-399.
- Martikainen, P. J. 1985. Nitrification in forest soil of different pH as affected by urea, ammonium sulphate and potassium sulphate. Soil Biol. Biochem. 17:363-367.
- Monreal, C; W. B. McGill and M. Nyborg, 1986. Spatial heterogeneity of substrates: effects on hydrolysis immobili-

- zation and nitrification of urea-N. Can. J. Soil Sci. 66:499-511.
- Ordoñez A, J.A. 1961. Aplicación de azufre inoculado y flor de azufre en seis diferentes niveles, respectivamente, para establecer su comportamiento como acidificantes y sus relaciones en la aprovechabilidad del N y P en suelos no lexiviados. Tesis profesional Escuela Superior de Agronomía "Antonio Narro". Universidad de Coahuila, Buena Vista. Saltillo Coah. México. 29pp.
- Ortega T. E. 1981. Química de suelos, editado por la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. pp 311-317.
- Ortiz Villanueva. B 1977. Fertilidad de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. Editorial Pátena pp:61 y 62.
- Pineda M, J. R. 1980. La Dinámica del Nitrógeno en el suelo y el Balance Nitrogenado suelo-planta, bajo cultivo de maíz (Zea mays). Tesis Doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México pp: 12-50.
- Pizarro F. 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editorial Agrícola española S.A. Madrid España. pp.69-78.
- Rachhpal-Singh, and P. H. Nye. 1984. diffusion of urea, ammonium and soil alkalinity from surface applied urea. -- Journal of Soil Science. 35: 529-538.
- Rao. D. L. N. and S. K. Ghai. 1986. Urease inhibitors: effect

- on wheat growth in an alkali soil. *Soil. Biol. Biochem* 18:255-258.
- Reynoso, R. 1978. Respuesta de la cebada (Hordeum vulgare L.) a aplicaciones de Azufre y Sulfato en suelos con deficiencias nutrimentales. Tesis. Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México 105 p.
- Sabey, B. R. and W. V. Bartholomew, R. Sau. and L. Pesek. --- 1956. Influence of temperature on nitrification in soil. *Soil. Sci. Society of Americ. Proc.* 20:857-360.
- Sánchez A, E. J. 1989. Dinamica de urea y sulfato de amonio en suelos calcáreos del Estado de Nuevo León, Tesis de Maestria en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, México. 155 p.
- Sauchelli V. 1966. Química y Tecnología de los fertilizantes primera edición, editorial Continental. México. pp.64-65.
- Savant, N. K; A. F. James and G. H. McClellan. 1987. Effect of soil bulk density on hydrolysis of surface-applied urea in unsaturated soils. *Fertilizer Research.* 11:221-229.
- Savant, N. K; A. G. James and G. H. McClellan. 1987. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soil. *Fertilizer Research.* 11:231-243.
- Schlegel, A. J; Dow. Nelson and L. E. Sommers. 1987. Use of urease inhibitors and urea fertilizers on winter wheat.

- Fertilizer Research. 11:97-111.
- Secretaría de programación y Presupuesto. C.G.S.N.E.G.I. 1981  
Síntesis Geográfica de Nuevo León. México. pp: 19-27.
- Teuscher, H. y R. Adler. 1980. El suelo y su fertilidad. Cia.  
Editorial Continental, Mexico. pp. 140 y 141.
- Thompson, L.M. 1966. El suelo y su fertilidad, tercera edi-  
ción. Editorial Reverte, S.A. México. pp.75-89, 190-  
198.
- Tisdale, S. L. y W. L. Nelson. 1982. Fertilidad de los suelos  
y fertilizantes. Editorial Hispano-americana. pp. 324-  
333.
- Troyo D.E. 1984. Efecto de la fertilización nitrogenada con y  
sin aportaciones de azufre sobre la producción del Gi-  
rasol (Helianthus annus L.) Var. Tecmon-2 bajo condi-  
ciones de riego en apodaca, N.L. Tesis de maestro en -  
Ciencias, Instituto Tecnológico y de Estudios Superio-  
res de Monterrey. División de Ciencias Agropecuarias y  
Maritimas, Monterrey N.L. México. 103 pp.
- Tyler, K. B; F. E. Bradbehnt and G.N. Hill. 1959. Low Tempe-  
rature effects on nitrification in four California ---  
soils. Soil. Sci. 123-129.
- Vlek, P. L. G. and M. F. Carter. 1983. The effect of soil en-  
vironment and fertilzer modifications on the rate of  
urea hydrolysis. Soil. Sci. 136:56-63.
- Voss, R. D. 1984. Potential for use of urease inhibitors. IN:  
Nitrogen in crop production, Madison, Wisconsin, USA.

pp:571-577.

Zamudio G.B. 1984. Predicción del movimiento de nitratos en -  
suelos labrados. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio  
Postgraduados Chapingo México. 231 p.

Zantua, M. F. and J. M. Bremner. 1976. Production and persis-  
tence urease activity in soils. Soil Biol. Biochem.  
8:369-374.

**9. A P E N D I C E**

**Cuadro 5A** Comparación de medias encontradas para la variable pH en las diferentes fuentes de nitrógeno a los 4 días bajo un arreglo factorial 3X2.

Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
Urea	B 7.57 a	a 7.56 B
Sulfato de amonio	B 7.54 b	a 7.29 A
Nitrato de amonio	A 7.39 b	a 7.27 A

Tukey  $\alpha=0.05$  0.08 para efecto de azufre

Tukey  $\alpha=0.05$  0.1 para efecto de las fuentes nitrogenadas

a y b implican efecto de azufre

A y B implican efecto de fuentes nitrogenadas

**Cuadro 6A** Resumen de los resultados del análisis de varianza considerando la estructura factorial de los tratamientos en el experimento para conocer el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, M.L.

Variable	CUADRADOS		MEDIOS		C.V (%)	Media Gral.
	(A) Fuentes Nitrogenadas	(B) Aplicación de azufre	Interacción A x B	Error		
pH (4 días)	0.0851**	0.0721**	0.223**	0.0018	0.56	7.43
pH (8 días)	0.0013NS	0.0553**	0.0005NS	0.0005	0.30	7.67
pH (16 días)	0.0003NS	0.0759**	0.0001NS	0.0016	0.52	7.56
CE (4 días)	0.0319**	4.3709**	0.0222**	0.0007	1.90	1.36
CE (8 días)	0.0133**	3.6630**	0.0147**	0.0016	2.90	1.36
CE (16 días)	0.0089NS	3.0422**	0.0150NS	0.0039	4.56	1.37
Amonio (4 días)	4951.0625**	37.1640NS	174.7108**	19.2000	7.37	59.56
Amonio (8 días)	1239.4805**	11.4609NS	1619.1162**	11.3401	9.40	35.52
Amonio (16 días)	9.6281NS	25.1128NS	252.7787*	46.1537	52.06	12.85
Nitratos(4 días)	517.5996**	114.5078*	47.0359NS	18.3016	9.55	44.80
Nitratos(8 días)	424.6055**	1476.2852**	526.1738**	13.6005	9.77	37.76
Nitratos(16 días)	38.4844NS	970.0391*	936.6875**	110.8505	19.84	53.07

N.S = No significativo

\* = Significativo ( $\alpha=0.05$ )

\*\* = Altamente significativo ( $\alpha=0.05$ )

Cuadro 7A Resumen de las comparaciones ortogonales efectuadas en el --  
experimento para conocer el efecto del azufre sobre la ni --  
trificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de  
Marin, N.L.

Variable	UADRADOS		Error
	Contraste 1	Contraste 2	
pH (4 días)	0.0044NS	0.1411**	0.0015
PH (8 días)	0.0283**	0.0726**	0.0005
pH (16 días)	0.0544**	0.0486**	0.0015
CE (4 días)	0.0738**	1.5000**	0.0008
CE (8 días)	0.1534**	1.9041**	0.0015
CE (16 días)	0.2827**	1.3067**	0.0080
Amonio (4 días)	1221.3949**	88.0464NS	25.3285
Amonio (8 días)	1394.3929**	88.0465*	14.7873
Amonio (16 días)	93.5488NS	0.8778NS	41.1772
Nitratos(4 días)	0.2241NS	727.5207**	39.5032
Nitratos(8 días)	101.0361*	727.1395**	18.1766
Nitratos(16 días)	2337.8816**	12.3505NS	125.6966

N.S = No significativo

\* = Significativo ( $\alpha=0.05$ )

\*\* = Altamente significativo ( $\alpha=0.05$ )

Contraste 1 = No fertilización Vs fertilización

Contraste 2 = Testigo Vs azufre

Cuadro 8A Comparación de medias encontradas para la variable CE en las --  
diferentes fuentes de nitrógeno a los 4 y 8 días bajo un arce--  
glo factorial 3X2.

4 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	B 0.81 b	a 1.75 C
	Sulfato de amonio	A 0.95 b	a 1.84 B
	Nitrato de amonio	B 0.85 b	a 1.97 A

Tukey \*\*-.05- 0.048 para efecto de azufre

Tukey \*\*-.05- 0.06 para efecto de las fuentes nitrogenadas

a y b implican efecto de azufre

A y B implican efecto de fuentes nitrogenadas

8 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	B 0.88 b	a 1.86 A
	Sulfato de amonio	A 1.00 b	a 1.79 A
	Nitrato de amonio	B 0.83 b	a 1.77 A

Tukey \*\*-.05- 0.073 para efecto de azufre

Tukey \*\*-.05- 0.09 para efecto de las fuentes nitrogenadas

a y b implican efecto de azufre

A y B implican efecto de fuentes nitrogenadas

**Cuadro 9A** Comparación de medias encontradas para la variable amonio en -- las diferentes fuentes de nitrógeno a los 4, 8 y 16 días bajo - un arreglo factorial 3X2.

4 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	B 74.63 b	a 66.33 B
	Sulfato de amonio	B 72.97 b	a 81.26 C
	Nitrato de amonio	A 34.83 b	a 27.36 A
	Tukey <sup>00.00</sup> 6.92 para efecto de azufre		
	Tukey <sup>00.00</sup> 8.52 para efecto de las fuentes nitrogenadas		
8 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	A 57.21 b	a 28.19 B
	Sulfato de amonio	B 29.02 a	b 56.39 A
	Nitrato de amonio	C 18.24 a	b 24.05 B
	Tukey <sup>00.00</sup> 5.30 para efecto de azufre		
	Tukey <sup>00.00</sup> 6.53 para efecto de las fuentes nitrogenadas		
16 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	A 11.77 a	a 14.76 A
	Sulfato de amonio	A 10.78 a	a 16.58 A
	Nitrato de amonio	A 19.07 a *-	b 4.15 A
	Tukey <sup>00.00</sup> 10.70 para efecto de azufre		
	Tukey <sup>00.00</sup> 13.18 para efecto de las fuentes nitrogenadas		
	*- en este caso b es el mejor		

a y b implican efecto de azufre

A y B implican efecto de fuentes nitrogenadas

**Cuadro 10A** Algunas propiedades fundamentales de la urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio (Primo, Y.E. y Carrasco, D.J.M. 1973. Química Agrícola).

	FUENTE NITROGENADA		
	Urea	Sulfato de amonio	Nitrato de amonio
Pórmula	$\text{NH}_2\text{CONH}_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{NH}_4\text{NO}_3$
Color	Blanco	Café claro	Blanco cremoso
Contenido de nitrógeno (%)	46	20.5	33.5
Punto de fusión (°C)	132.7	513.0	170.4
Densidad (g/cc)	1.335	1.77	1.725
Solubilidad (g/100 ml H <sub>2</sub> O a 100°C)	733	103.8	843
Punto higroscópico u humedad crítica a 30°C (%)	72	80.0	59.4
Contenido de azufre (%)	0	24	0
Índice de acidez	84	110	120.6
Índice salino	75	69	105
Índice salino por unidad nutriente	1.618	3.253	2.990

Fuente: Castro Z. (1978), Sauchelli V. (1966) y Ortiz V. (1977).

**Cuadro 11A** Comparación de medias encontradas para la variable nitratos en las diferentes fuentes de nitrógeno a los 8 y 16 días bajo un arreglo factorial 3X2.

8 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	A 63.02 a	b 29.22 B
	Sulfato de amonio	B 38.14 a	b 27.36 B
	Nitrato de amonio	B 35.66 a	a 33.17 B
Tukey <sup>0.05</sup> 5.81 para efecto de azufre			
Tukey <sup>0.05</sup> 7.15 para efecto de las fuentes nitrogenadas			
16 días	Fuentes Nitrogenadas	sin azufre	con azufre
	Urea	A 49.75 b	b 61.36 A
	Sulfato de amonio	A 62.19 a	b 42.29 AB
	Nitrato de amonio	A 66.33 a	b 36.48 B
Tukey <sup>0.05</sup> 16.58 para efecto de azufre			
Tukey <sup>0.05</sup> 20.43 para efecto de las fuentes nitrogenadas			

a y b implican efecto de azufre  
A y B implican efecto de fuentes nitrogenadas

**Cuadro 12A** Resultados del análisis de varianza efectuado entre las diferentes fuentes fertilizantes (urea, sulfato y nitrato de amonio) con y sin la aplicación de azufre.

CM Tratamientos	Fcal	Ftab	CV (%)
Urea	138.6211	0.6143	0.519NS
Sulfato de amonio	78.3369	0.6986	0.546NS
Nitrato de amonio	269.7422	2.3864	0.197NS

NS = No significativo

**Cuadro 13A** Marcha a seguir para la determinación del nitró--trógeno por el método arrastre de vapor.

REACTIVOS.

- 1.-  $\text{KCl} \frac{1}{\text{N}}$
- 2.- Oxido de Magnesio secado a  $700^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas
- 3.-  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.005N
- 4.- Mezcla de ácido Bórico e indicador Verde de Bromocresol y Rojo de Metilo. Disolver 20 gr. de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  puro en 700 ml. de agua caliente. Enfrie la solución y traspásela a un frasco volumétrico de 1 lt., que contiene previamente 200 ml. de Etanol y 20 ml. de la mezcla de indicadores. (La mezcla de indicadores se prepara disolviendo 0.330 g. de Verde de Bromocresol y 0.165 g. de Rojo de Metilo en 500 ml. de Etanol). A la solución en el frasco volumétrico, ajústela con suficiente NaOH 0.05N hasta conseguir un color púrpura o morado; en este punto el color cambiará de púrpura a verde palido cuando se mezcla 1 ml. de agua de llave del laboratorio.
- 5.- Aleación de Devarda ("Devarda Alloy"). Este reactivo --- puede conseguirse en la casa Comercial: Merck de México.
- 6.- Acido Sulfámico al 2%. Disolver 2 g. de este reactivo en 100 ml. de agua. Guardar la solución bajo refrigeración.
- 7.- Solución estandars de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Disolver 0.236 g. de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y 0.361 g. de  $\text{KNO}_3$  en agua, y traspasar la --- mezcla a un frasco volumétrico de 1 litro y aforar. Esta solución contiene 50 ppm de  $\text{N}(\text{NH}_4^+)$  y 50 ppm de  $\text{N}(\text{NO}_3^-)$ , si se usaron reactivos secos y puros en su preparación.

Conservar bajo refrigeración.

- 8.- Soluciones estandars de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ . Disolver ----  
 0.236 g. de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0.123 g. de  $\text{NaNO}_3$  y 0.361 g. de -  
 $\text{KNO}_3$  en agua traspasar la mezcla a un frasco volumétrico  
 de 1 litro y aforar. Esta solución contiene 50 ppm de --  
 $\text{N}(\text{NH}_4)$ , 25 ppm de  $\text{N}(\text{NO}_2)$  y 50 ppm de  $\text{N}(\text{NO}_3^-)$ , si se usa-  
 ron reactivos secos y puros en su preparación. Conservar  
 bajo refrigeración.

#### PROCEDIMIENTO.

Agitar 5 gr. de suelo tamizado a 2 mm. con 50 ml. de  $\text{KCl}$   
 2N en un frasco Erlenmeyer de 125 ml. durante una hora,  
 centrifugar la solución y guardar el sobrenadante para -  
 la determinación enseguida del nitrógeno inorgánico (---  
 $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ), añadir 5 ml. de la mezcla de  $\text{H}_3\text{BO}_3^+$   
 indicador a un frasco Erlenmeyer de 50 ml. Coloque el --  
 frasco debajo del tubo de salida del condensador del a--  
 aparato de destilación de manera que haya una distancia -  
 de 4 cm. entre este tubo de salida y la superficie del -  
 líquido en el frasco Erlenmeyer.

Pipetear 10 a 20 ml. del extracto de suelo al frasco de  
 destilación; conectar el frasco al aparato de destila---  
 ción.

Añadir 0.2 g. de  $\text{MgO}$  al frasco mediante el embudo con---  
 centrado al aparato y proseguir la destilación.

Descontinuar la destilación al conseguir 30 ml. de des--  
 tilación en el frasco Erlenmeyer.

Cuantificar el % de Nitrógeno ( $\text{NH}_4^+$ ) en el destilador al

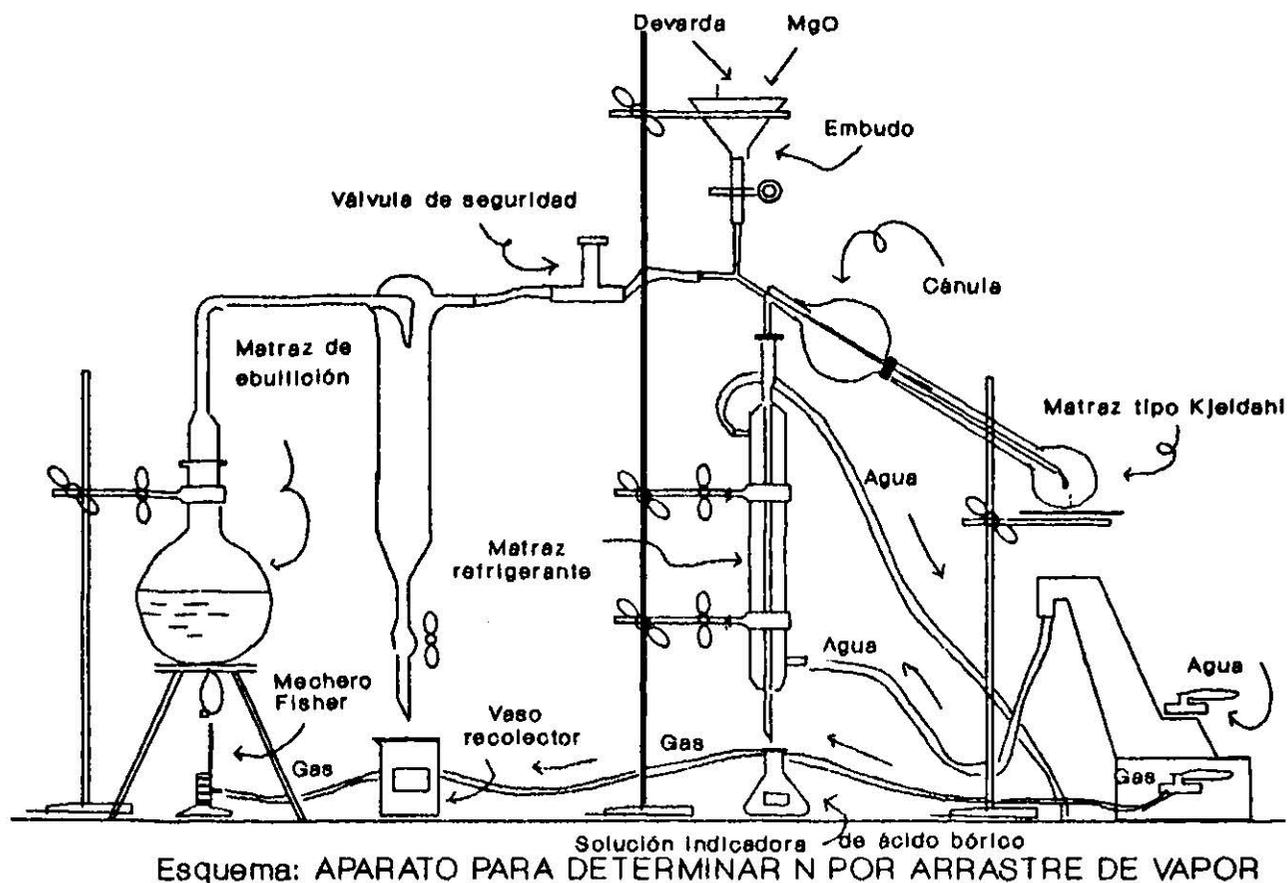
titularlo con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.005N (1 ml. de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.005N = 70 --  $\mu\text{g}$  de  $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ ).

Determinación de  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ . Después de la destilación del  $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ , añadir 0.2 g. de la aleación de Devarda al frasco destilador mediante el embudo de conexión y proseguir la destilación como arriba mencionado para la destilación de  $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ , evitando que haya escape del amonio\*.

**NOTA:** \*Es necesario colocar previamente otro frasco Erlenmeyer de 50 ml. de capacidad abajo del tubo de salida del condensador del aparato de destilación y que contenga 5ml. de la mezcla  $\text{H}_3\text{BO}_3$  indicador antes de proseguir con la destilación.

Determinación  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ . Añadir 1 ml. de Acido Sulfámico al extracto del suelo en el frasco destilador y agitar el frasco, luego añadir 0.2 g. de  $\text{MgO}$  y también 0.2 g. de la aleación Devarda al frasco destilador, usando para esto el embudo de conexión que se tapara inmediatamente después para evitar posibles pérdidas de gas amonio. Proseguir la destilación como en el caso de la determinación del amonio\*.

Calcular la cantidad de  $\text{N}(\text{NH}_4^+)$ , ( $\text{NO}_2^-$ ) en el suelo, haciendo los calculos necesarios a partir del contenido de  $\text{N}$  cuantificado en la alícuota de destilado.



**FIGURA 11A** Esquema que representa el equipo utilizado para la determinación del nitrógeno por arrastre de vapor; en el estudio para conocer el efecto del azufre -- sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L.

FE DE ERRATAS

Pagina	Renclon	Dice	Debe decir
9	9	ligeramnete	ligeramente
9	10	problamente	probablemente
84	4	2N	1N

**"SERPAC"**  
ENCUADERACIONES  
TAPIA 148 OTE TEL. 74-70-41  
MONTERREY, N. L.

