

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE FORMAS NITROGENADAS
(NITRITO, AMONIO, NITRATO) EN SUELOS CULTIVADOS

D.L. ORIHUELA, A. GONZÁLEZ, E. ROMERO y R. GARRIDO

GHMA. Universidad de Huelva

RESUMEN

El nitrógeno es, posiblemente, el input que más influye en el rendimiento de las cosechas (FAO, 1983) de tal forma que su conocimiento es esencial para una aplicación correcta del mismo, pero además, las formas nitrogenadas, incorrectamente aplicadas en el tiempo, pueden ser, y de hecho en muchos casos lo son, un foco de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Los autores del presente trabajo no sólo han pretendido en esta experiencia confirmar que el comportamiento de la formas nitrogenadas nitratos, nitritos y amonio, siguen modelos ya establecidos por otros autores, (URBANO, P. 1989) sino que los datos experimentales permitan, en el futuro, el ajuste de los valores de abonado a las dosis exactas, compatibles con un máximo beneficio económico y un mínimo riesgo medioambiental.

PALABRAS CLAVE

Nitratos, Nitritos, Amonio, Evolución temporal, Cápsulas de succión.

ABSTRACT

Nitrogen is, possibly, the input with the highest influences on the yield of the crops (FAO, 1983) in such a way that their knowledge is essential for a

correct application of the same, but beside, the nitrogenous forms, incorrectly applied in the time, they can be, and in fact in many cases it are, an area of superficial and groundwaters pollution.

The authors have intended in this study to confirm the behavioral conduct of the nitrogenous forms like nitrates, nitrites and ammonium, which existing models has been explained by other (URBANO, P., 1989).

The knowledge of the correct application time of the nitrogenous forms is essential to avoid superficial and groundwater pollution.

KEY WORDS

Nitrates, Nitrites, Ammonium, Temporary evolution, Suction capsules.

CONSIDERACIONES PREVIAS Y OBJETIVOS

La evolución de las formas nitrogenadas en los suelos agrícolas está bien documentada en la literatura científica, por lo que la investigación que se planteó en la parcela experimental que describimos en el siguiente apartado, tiende a confirmar determinadas hipótesis de partida con el fin de ajustar en los cultivos los procesos de riego y abonado con la mayor exactitud posible, y con dos objetivos principales:

- a. Determinar las dosis exactas de abonos compatibles con un desarrollo correcto del cultivo en cuestión.
- b. Establecer programas de abonado que a largo plazo sean respetuosos con el medio ambiente.

Por lo que respecta al primer apartado, hay que tener en cuenta que desde el punto de vista económico el capítulo de abonado es de una gran incidencia en la economía de la explotación, por lo que es preciso aplicar solo aquellas cantidades que lleven a un rendimiento donde se maximice el beneficio, por lo que este input se puede optimizar como consecuencia de estas experiencias.

Por lo que respecta al segundo apartado, hay que decir que las cantidades de abono a aplicar, en el marco de una agricultura sostenible, han de pasar por ajustes rigurosos en las cantidades, en los momentos o en las formas de aplicación, con el objeto de evitar el deterioro del medio productivo, del medio ecológico y casi siempre del medio social que es la agricultura.

Pues bien, los abonos nitrogenados son hoy, los más empleados desde el punto de vista cuantitativo. Y sin lugar a dudas son los que más inciden en el desarrollo de la agricultura moderna. Dentro de este tipo de abono, las formas a aplicar son varias, pero las mas usadas son formas amoniacales (entrega en forma NH_4^+) o formas nítricas (entrega en forma NO_3^-) - hay otras formas que

puntualmente se utilizan pero cuantitativamente menores, por lo que no se consideran aquí.

Las plantas no sólo utilizan el abono nitrogenado que aplican los agricultores como abono mineral, sino que además se nutren de una gran reserva de descomposición más lenta, que es el nitrógeno orgánico (a veces más del 85% del nitrógeno de los suelos procede de la reserva orgánica de los mismos; (DOMÍNGUEZ, 1978). Pero las plantas no pueden absorber el nitrógeno orgánico; es necesario su paso a nitrógeno mineral (formas NO_3^- ; preferentes en épocas de mayor temperatura, o formas NH_4^+ , preferentes en épocas más frías o en estadios más jóvenes de la planta).

Así pues, las plantas pueden tomar directamente estas dos formas nitrogenadas, pero su procedencia es, en principio, salvo que se usen técnicas de marcaje, variada, es decir pueden proceder o bien de la descomposición de la reserva orgánica del suelo o bien de la aplicación por parte del agricultor de formas minerales, principalmente.

Todos estos procesos quedan perfectamente explicados en el ciclo del nitrógeno, descrito en detalle en la literatura científica (FAO, 1986), por lo que se obvia su descripción.

No obstante, sí se considera necesario incidir en un detalle particular de ese ciclo, íntimamente relacionado con esta ponencia, y que servirá para entender los procesos que se describen a continuación.

Las formas NO_3^- , del ciclo del nitrógeno, son las que tradicionalmente han preocupado a los investigadores de zona no saturada, (las formas NH_4^+ no han preocupado porque van a intercambio) por su posible incidencia en la contaminación de acuíferos subyacentes, y cuya dinámica, formas de movimiento, y comportamiento, por conocidos, no comentamos, pueden proceder, en su evolución, de cuatro fuentes:

- La primera es la *aplicación directa* por parte del agricultor de abonos que contienen nitratos.
- La segunda es el fenómeno llamado *nitrificación*, paso de formas amoniacales (orgánicas o minerales) a formas nítricas.
- La tercera es el fenómeno llamado *nitratación*, que es el paso de formas nitrosas a formas nítricas. Hay un proceso intermedio que se llama *nitrosación* (es una de las fases de la nitrificación) por el que se generan formas nitrosas a partir de formas amoniacales, y luego se completaría con el proceso de nitratación.
- La cuarta sería la aportación de formas nitrogenadas por *la lluvia*, aunque, salvo excepciones, es de menor cuantía que las anteriores.

En base a lo expuesto, es importante reseñar que tanto el proceso de nitrificación como el de nitratación, así como el de nitrosación, son procesos estrictamente bacterianos, y algunos de ellos muy específicos para géneros determinados de bacterias.

Las bacterias usan estas formas nitrogenadas como soportes energéticos, obteniendo diversas cantidades de energía, de tal forma que la existencia de una forma determinada de soporte de oxidación (proteína, forma NH_4^+ , forma NO_2^-) tendrá un tiempo de permanencia en el suelo que es función inversa, normalmente, a su capacidad de dar energía. Así, el soporte NO_2^- , oxidado a NO_3^- , sólo produce 17,5 kcal/mol, mientras que el soporte NH_4^+ para pasar a forma nitrosa produce 66 kcal/mol, y un soporte amídico con paso por formas amoniacales produciría 176 kcal/mol.

Por ello, las bacterias tendrán que consumir mayores cantidades de los soportes poco ricos en energía (formas nitrosas), las cuales desaparecerán rápidamente del medio, quedando finalmente solo las formas NO_3^- o las NH_4^+ , que serán tomadas por las plantas o nuevos microorganismos para establecer el proceso que se conoce con el nombre de neoproteínización.

Así pues, el seguimiento de las formas nítricas tendrá una secuencia determinada, motivada por diversos factores —climáticos, bacterianos o de cultivo—, que habrán de ser tenidos en cuenta, y las formas nitrosas tendrán un comportamiento errático, oportunista, y no sujeto, por lo general, a reglas fácilmente detectables.

METODOLOGÍA EMPLEADA

Se ha dispuesto una parcela experimental con dos cultivos (cultivo 1: cítricos y cultivo 2: melocotones) más otro anejo sin cultivos (testigo). En ellos se colocaron 18 cápsulas de cerámica porosa, en lotes de 6 cápsulas a diferentes profundidades (20, 40, 60, 80, 100 y 120 cm). La ubicación de cada cápsula entre los árboles o en la parcela testigo fue aleatoria.

Se trabajó durante dos años. En la primer año se tomaron datos de Temperatura máxima, Temperatura mínima, Pluviometría, Riego, Abonado (nítrico y/o amoniacal). En el agua extraída en cada cápsula se determinaron, entre otras variables, nitritos y amonio.

En el segundo año se instalaron termómetros de suelo a 20 y 40 cm y se tomaron datos analíticos de los nitratos en el agua de las capsulas, además de todas las variables climáticas y de cultivo antes mencionadas.

En los siguientes apartados se presentan los datos que se obtuvieron en estas experiencias, y los principales resultados de su interpretación.

DATOS OBTENIDOS

En el transcurso de las experiencias se obtuvieron numerosos datos (*in situ* y en laboratorio), pero las variables que se tienen en cuenta en este estudio son: tiempo, lluvia, riego, temperatura (media atmosférica y del suelo a 40 cm y a 20 cm), formas nítricas, formas amoniacales y formas nitrosas.

En los cuadros 1 y 2 se reflejan los datos de las variables controladas en cada cápsula.

COMPORTAMIENTO GENERAL DE LAS FORMAS NITROGENADAS

Comportamiento de los nitratos

Partiendo de los datos y variables que se manejan en este estudio se infieren los resultados principales que se comentan.

La concentración de nitratos presenta una tendencia estacional debido a las condiciones que regulan la actividad microbiana (JONHSON *et al*, 1986; BELLIDAS y RODÁ, 1991) y a todas las actividades que son responsables de la descomposición de la reserva orgánica del suelo (figura 1).

Los nitratos podrían tener una procedencia del agua de lluvia de otoño (ÁLVAREZ *et al*, 1992), pero cuantitativamente poco importante. Este valor escasamente supera en la cuenca mediterránea de 10 a 15 kg/ha y año (URBANO, 1992). El proceso de intensas lluvias de otoño-invierno (figura 2) no va seguido de un lavado de los suelos en las formas nítricas, como cabría esperar en un suelo "estrictamente mineral", sin cultivo y sin actividad microbiana, hacia horizontes edáficos más profundos donde la anaerobiosis sea lo normal.

La pauta general más destacada en relación con la presencia de los nitratos en los suelos a lo largo del año, en los horizontes de cultivo, es coincidente con los procesos de máxima actividad microbiana (gobernados por la temperatura, figura 2) que en estas latitudes se inicia en primavera, para presentar un máximo en los cultivos de secano en verano cuando se van secando los suelos. En las tierras de riego esta actividad puede mantenerse hasta entrado el otoño, desciende en esta época y se hace mínima en invierno. Esa actividad estará además condicionada por el pH del suelo, siendo máxima en los suelos neutros.

La actividad radicular condiciona la cantidad de nitratos presente en los perfiles, ya que la presencia de un cultivo regular tiende a quitar nitratos de esos perfiles edáficos haciendo que la cantidad de nitratos sea menor en zona cultivada que en zona sin cultivar (figura 2).

La presencia de abonados en los riegos condiciona, sólo relativamente, la cantidad de nitratos en el tiempo. En la figura 3 puede observarse como el proceso de elevación de las formas nitrogenadas comienza antes que el proceso de abonado. Luego éste abonado modificará cuantitativamente la subida o no de los niveles, pero el factor de descomposición de la reserva microbiana es el que define la pauta de conducta general.

Comportamiento de los nitritos

Los nitritos presentan en las tres situaciones estudiadas (cítricos, melocotones y testigo) un comportamiento aparentemente anárquico, por lo menos

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE FORMAS NITROGENADAS (NITRITO, AMONIO Y NITRATO) EN SUELOS CULTIVADOS

TIEMPO	SEMANA	T-MEDIA	TS20	LLUV-RRIES	ABONO3	C2-1NO3	C2-2NO3	C2-3NO3	C2-4NO3	C2-5NO3	C2-6NO3	C3-1NO3	C3-2NO3	C3-3NO3	C3-4NO3	C3-5NO3	C3-6NO3	MEDIA-2	MEDIA-3
1-oct-96	46	23,9			0,2	0,0						150	50	150	125			3,3	118,8
1-oct-96	46	20,9	15,9	15,2	1,7	0,0	10	0	0	0	0	150	75	150	150			2,0	131,2
1-oct-96	47	25,0	14,1	13,4	0,1	0,0	10	10	25	10	25		125	150				18,0	137,5
1-oct-96	48	29,2	14,7	14,2	-	0,0	10	10	0	0	0			125			75	3,3	100,0
1-nov-96	49	27,1	14,0	13,4	-	0,0	0	0	10	0	0	150	25	125	75	75	25	90,0	
1-nov-96	50	21,2	13,8	14,0	-	0,0	0	0	10	0	0		10	50	0	50	2,0	27,5	
1-nov-96	51	14,5	14,8	14,0	28,8	0,0	0	0	0	0	0	25	0	10	0	0	-	7,0	
1-nov-96	52	16,0	13,0	12,3	134,5	0,0	0	0	0	0	0			10	0				
1-dic-96	53	16,0	12,0	11,0	60,5	0,0	10	25	10	10	10	25	10	25	25	25	13,0	22,0	
1-dic-96	54	12,1	11,4	11,1	60,7	0,0	50	25	45	20	10	25	25	25	25	25	30,8	25,0	
1-dic-96	55	15,5	12,0	11,6	95,6	0,0	50	50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	37,5	33,3
1-ene-97	56	18,0	10,8	9,7	79,4	0,0	50	50	25	25	25	25	25	25	25	25	90	35,0	31,3
1-ene-97	57	15,2	11,9	11,1	55,3	0,0	50	50	25	25	25	50	75	50	75			43,8	82,5
1-ene-97	58	13,1	12,8	12,4	4,9	0,0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	90,0	58,3	
1-ene-97	59	14,2	12,8	11,9	11,7	0,0	50	50	25	50	50	75	75	75	75	125	43,8	87,5	
1-ene-97	60	13,1	12,8	12,0	11,8	0,0	50	75	50	50	50	50	50	50	50	150	96,3	100,0	
1-ene-97	61	12,3	13,5	12,8	14,3	0,0	50	50	50	75	75	75	75	75	150		90,0	100,0	
1-feb-97	62	16,1	14,8	14,8	10,4	0,0	50	50	50	50	50						90,0	112,5	
1-feb-97	63	15,1	15,2	14,7	10,9	1,0	125	75									150	100,0	
1-feb-97	64	15,4	16,0	16,0	5,8	1,1	150	125	75								150	150,0	
1-feb-97	65	15,2	18,8	18,2	10,4	0,1													
1-mar-97	66	16,8	17,8	18,0	1,5	1,7													
1-mar-97	67	17,3	18,4	18,8	3,0	0,9													
1-mar-97	68	16,5	18,8	18,4	2,0	1,0													
1-mar-97	69	17,2	17,8	17,7	5,4	0,7													
1-mar-97	70	17,8	20,0	21,7	-	0,0	125	150	75										
1-abr-97	71	19,1	19,3	19,5	2,3	0,2	150	125	75	125									
1-abr-97	72	18,4	20,2	20,2	2,8	1,2	75	75	75										

CLAVE: C21NO2; C2=cápsula nº 2 (de seis), 1=clase de cultivo (cítricos), NO2=elemento analizado

C1, C2, C3, C4, C5, C6 = cápsulas 1, 2, 3, 4, 5, 6 en el cultivo, 1

MEDIA-2: Valor medio de los nitratos de las cápsulas en el cultivo 2 (melocotoneros) a la fecha indicada

MEDIA-3: Valor medio de los nitratos de las cápsulas en el testigo 3 (sin cultivo) a la fecha indicada

SEMANA=nº de orden de la semana de control, T-MEDIA=temperatura media del aire [°C], TS20, TS40=temperatura del suelo [°C] a 20 y 40 cm, respectivamente

LLUV-RRIES=aportes de lluvia+aportes de riego; ABONO3=aportes de abono nitrogenado (gr/l)

Cuadro 1

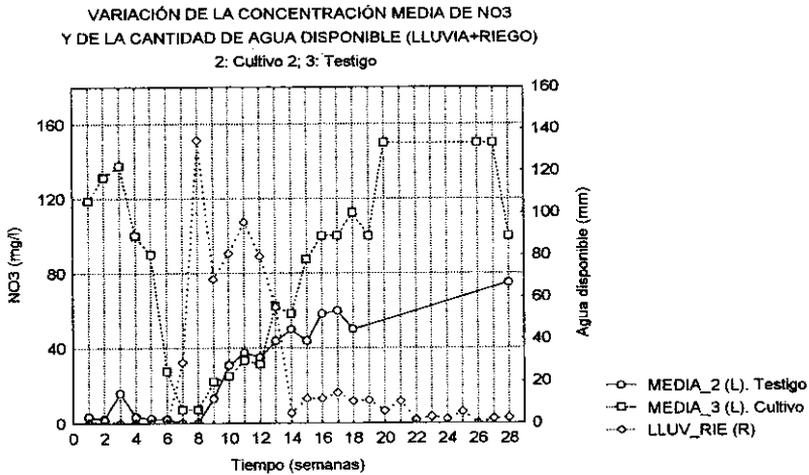
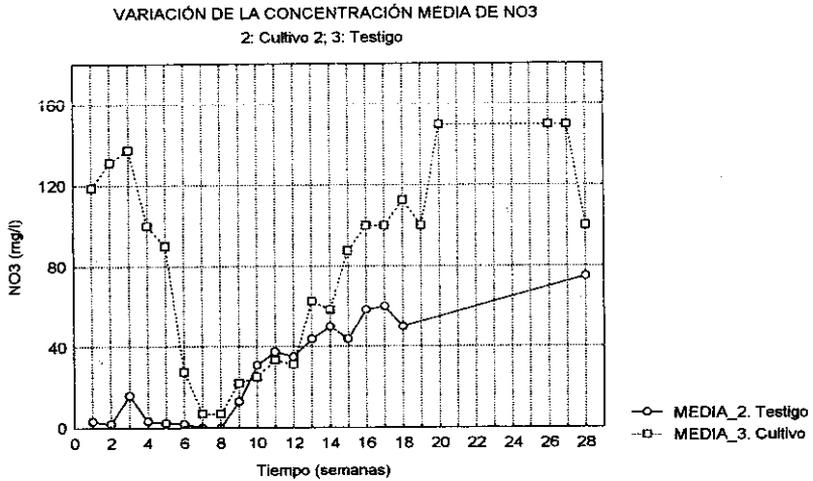


Fig. 1

en esta experiencia y en este tiempo. No se puede inferir tendencia temporal (figura 4), ni las interrelaciones con otra variables tales como temperatura, lluvia o abono ofrecen una interpretación clara, como se muestra en la matriz de correlación (cuadro 3).

VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MEDIA DE NO₃
Y DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE
2: Cultivo 2; 3: Testigo

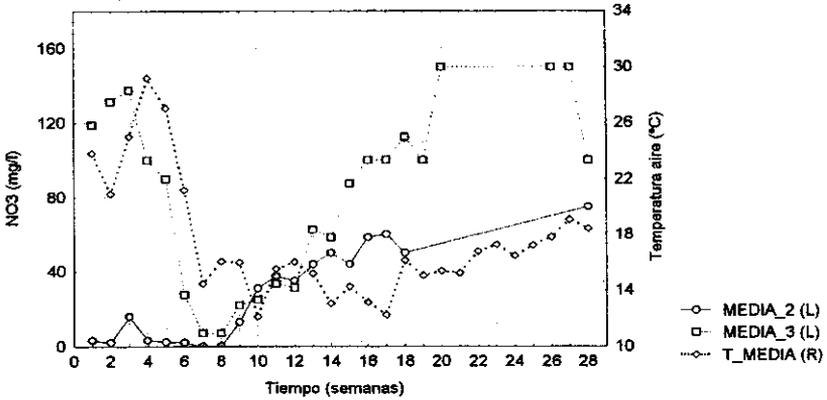


Fig. 2

Se ha estudiado, así mismo, una matriz de correlación de todas las formas nitrosas en cada cápsula y para cada caso, pero el resultado no ha ofrecido ninguna significación.

Todo lo anterior nos confirma la hipótesis de que las formas nitrosas son formas de tránsito, ya que, al ser de escaso aporte energético para las bacterias del suelo, son consumidas con cierta facilidad, a medida que se van formando, a partir de los procesos ya explicados.

VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MEDIA DE NO₃
EN FUNCIÓN DE LOS NIVELES DE ABONADO
2: Cultivo 2; 3: Testigo

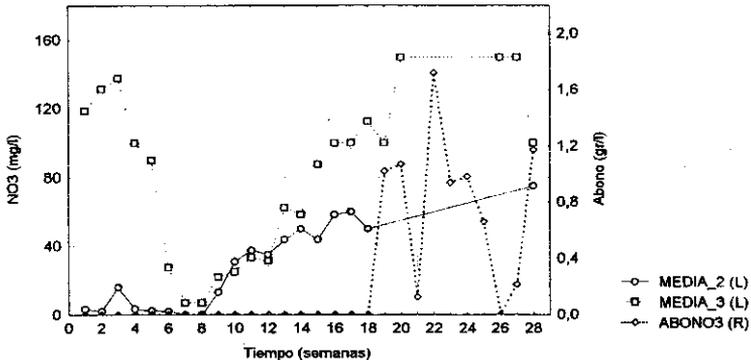


Fig. 3

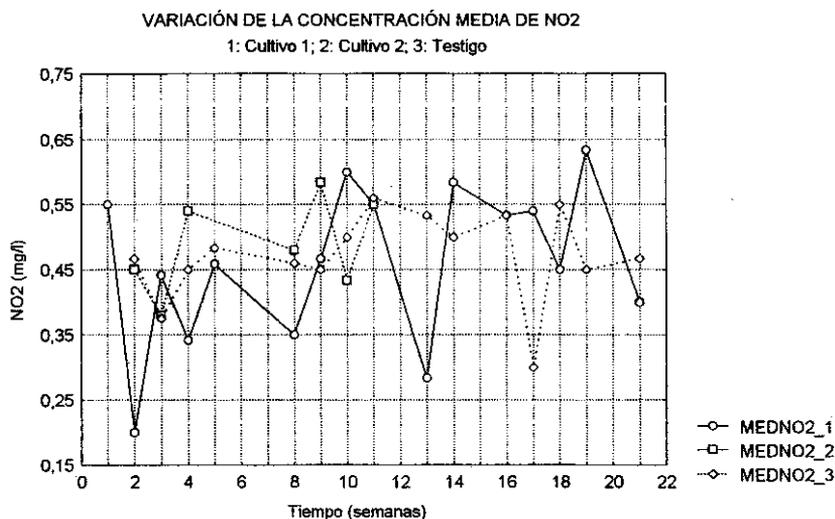


Fig. 4

Comportamiento del ión amonio

Las formas amoniacaes presentes en los suelos tienen, fundamentalmente, una doble procedencia, descartando la lluvia:

- procesos de *amonización* (paso de radicales amídicos, vía descomposición microbiana, a radicales amonio)
- incorporación de *abonos* en forma amoniacaal.

El ión amonio, por sus características químicas, suele pasar con cierta rapidez a fase de intercambio, y aquellos iones que no formen parte de la C.I.C. (Capacidad de Intercambio Catiónico) de los suelos, se mantendrán en las soluciones edáficas, como soporte energético para bacterias, con consumos más lentos que las formas nitrosas, por lo que serán algo más duraderas en las aguas edáficas.

Como se ve en la figura 5, las formas amoniacaes no tienen un comportamiento excesivamente ordenado, y sus valores no son correlacionables con el resto de las variables en juego (cuadro 3).

En este sentido y para futuras experiencias, sería de interés el seguimiento de los valores de la C.I.C. del suelo y su valoración frente a las analíticas del agua edáfica.

Cuadro 3

Matriz de correlación para valores medios de NO₂
 *Valores significativos, con un nivel de confianza del 95%

Variable	TMedia	Lluvia	Riego	Abono3	Abonh4	Medno2_1	Medno2_2	Medno2_3
TEMEDIA	1.00	-0.68	-0.61	-	-	0.43	0.48	0.91*
LLUVIA	-0.68	1.00	-0.41	-	-	-0.20	0.21	-0.56
RIEGO0.61	-0.41	1.00	-	-	0.42	0.37	0.74	-
ABONO3	-	-	-	1.00	-	-	-	-
ABONH4	-	-	-	-	1.00	-	-	-
MEDNO2_1	0.43	-0.20	0.42	-	-	1.00	0.09	0.37
MEDNO2_2	0.48	0.21	0.37	-	-	0.09	1.00	0.47
MEDNO2_3	0.91*	-0.56	0.74	-	-	0.37	0.47	1.00

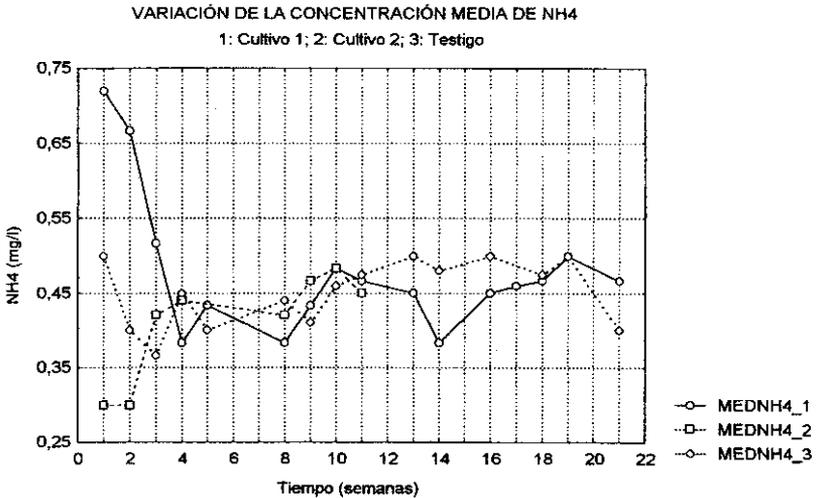


Fig. 5

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ, E.; MARTÍNEZ, A.; VEIGA, A. (1992). Composición iónica de la disolución de los suelos de Galicia. Relación con el tipo de cubierta arbórea y material de partida. *Ecología*, 6, 17-27.
- BELLIDAS, C.M.; RODA, F. (1991). Nutrient budgets in a dry heathland watershed in northeastern Spain. *Biogeochemistry*, 13, 137-157.
- DOMÍNGUEZ, A. (1978). Abonos minerales. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- FAO (1983). Anuario FAO de Producción. Vol 37. Roma.
- FAO (1983). Anuario FAO Fertilizantes. Vol 33. Roma.
- FAO (1986). Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. *Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal*. Nº 9. Roma.
- FOSTER, N.W.; NICHOLSON, J.A.; HAZLETT, P.W. (1989). Temporal variation in nitrate and nutrient cations in drainage waters from a deciduous forest. *Jour. Environ. Qual.* 18, 238-244.
- JOHNSON, D.W.; COLE, D.W.; VAN MIERGROET, H.; HORNG, F.W. (1986). Factors affecting anion movement & retention in four forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 776-783.
- URBANO, P. (1992). Tratado de Fitotecnia General. Mundi Prensa. Madrid.