

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

## IV.1. FERTILIZANTES.

### IV.1.1. ANALISIS E.U.F.

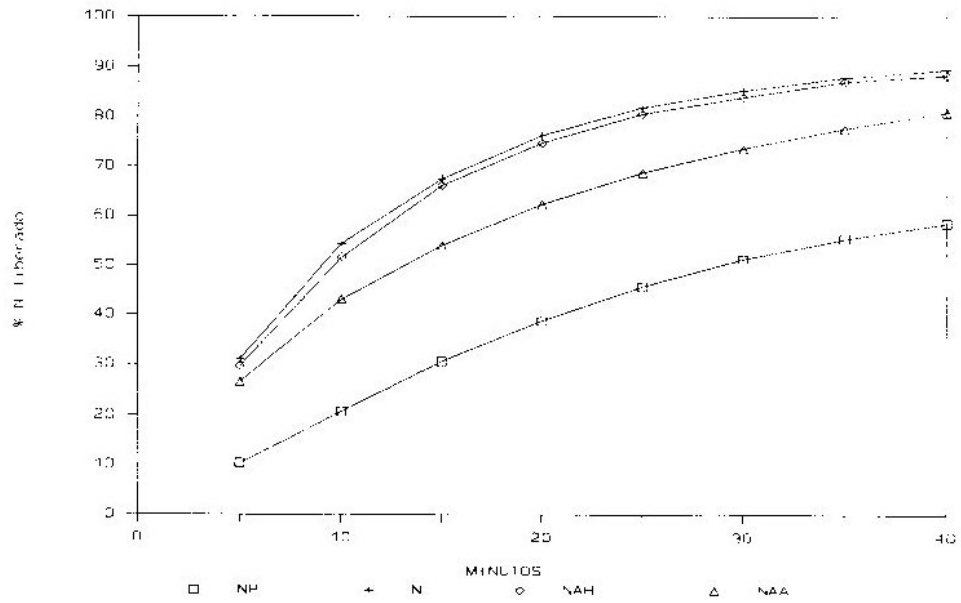
Se sometieron a extracción E.U.F. sendas muestras de los siete fertilizantes empleados:

- \* Nitrofoska Permanent (NP),
- \* Nitrofoska (N),
- \* Nitrofoska recubierto con ácidos húmicos (NAH),
- \* Nitrofoska recubierto con ácido algínico (NAA),
- \* Urea (U),
- \* Urea recubierta con ácidos húmicos (UAH) y
- \* Urea recubierta con ácido algínico (UAA).

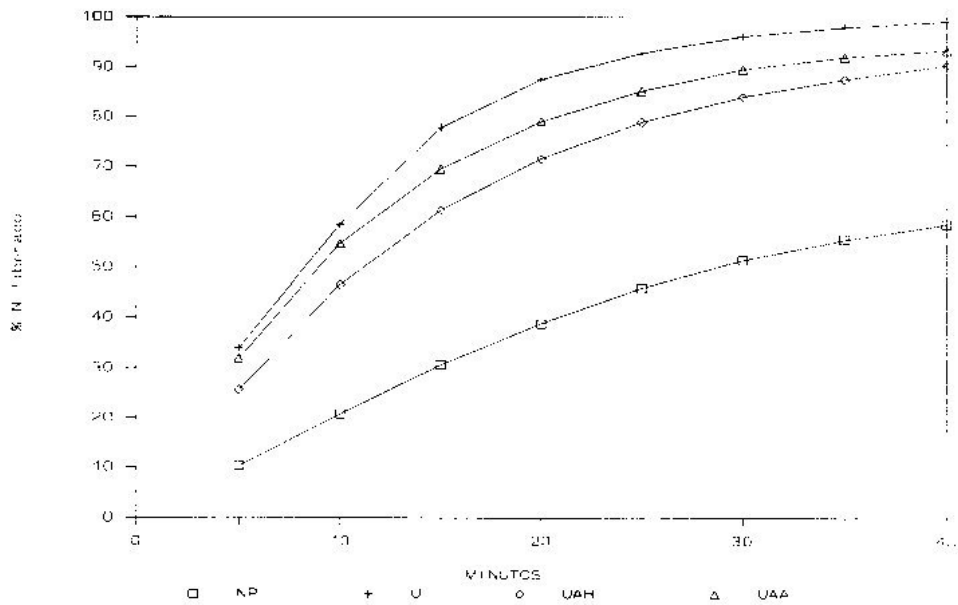
Una vez recolectadas las fracciones, uniendo la catiónica y aniónica correspondientes, y enrasadas a 100 ml., se procedió a analizar el contenido en  $N-NO_3^-$ ,  $N-NO_2^-$  y N-Kjeldahl, con el fin de poder conocer la cantidad total de nitrógeno, tanto mineral como orgánico, contenido en cada una de ellas; los resultados se exponen en los apéndices V y VI.

Representando gráficamente el % N recuperado en cada fracción frente al tiempo en minutos, se obtienen las figuras 12 y 13.

En ellas se puede observar que ninguno de los fertilizantes ensayados se comporta como recubierto, ya



**Figura 12:** Evolución del nitrógeno liberado mediante E.U.F. a partir de N, NAH, NAA y NP.



**Figura 13:** Evolución del nitrógeno liberado mediante E.U.P. a partir de U, UAH, UAA y NP.

que las gráficas son claramente convexas respecto a las abscisas, y no se aprecia diferencia entre las etapas I (seis primeras extracciones, a 20°C) y II (dos últimas extracciones, a 80°C) (Díez et al., 1991.).

No obstante, sí se puede constatar que el hecho de adicionar ácidos húmicos y ácido algínico a los fertilizantes urea y Nitrofoska, produce diferencias apreciables en relación a la liberación E.U.F. de nitrógeno, dando como consecuencia cierto retardo en la disolución de los fertilizantes recubiertos respecto al no recubierto. En el caso del Nitrofoska es el ácido algínico el que más incidencia presenta, observando un efecto mucho menor de los ácidos húmicos, mientras que en la urea se produce el resultado inverso.

Con el fin de cuantificar, en la medida de lo posible, las diferencias observadas, se procedió a ajustar los datos a un modelo matemático que los describa.

#### IV.1.2. MODELO CINETICO.

Los datos correspondientes a la etapa I de la extracción E.U.F. se ajustaron a una cinética de primer orden, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{d ( d )}{dt} = K ( D - d );$$

En la que:

D: Cantidad inicial de nitrógeno en la cámara central (mg. N.),

d: Cantidad acumulada de las especies reaccionantes, que son transferidas en un tiempo t de la cámara central al ánodo y al cátodo (mg. N.),

K: Constante de velocidad, relacionada con la velocidad de reacción ( $\text{min}^{-1}$ ),

t: tiempo (min.),

$\frac{d(d)}{dt}$ : Velocidad de liberación del nitrógeno desde la cámara central E.U.F., al ánodo y cátodo (mg. N./min.), y

(D-d): Cantidad de nitrógeno que queda en la cámara central E.U.F. después de un tiempo t de extracción (mg. N.).

Agrupando términos:  $\frac{d(d)}{(D-d)} = K dt$ ;

Integrando:  $\int_0^d \frac{d(d)}{(D-d)} = \int_0^t K dt$ ;

$$-\ln(D-d) \Big|_0^d = K t \Big|_0^t ;$$

$$-\ln(D-d) + \ln D = K t;$$

Operando:  $\ln \left| 1 - \frac{d}{D} \right| = -K t$ ;

Donde  $\frac{d}{D}$  es el tanto por uno del nitrógeno

transferido al ánodo y cátodo, respecto del que inicialmente se parte.

$$\text{Quitando logaritmos: } 1 - \frac{d}{D} = e^{-Kt};$$

$$\frac{D-d}{D} = e^{-Kt};$$

$$d = D [1 - e^{-Kt}];$$

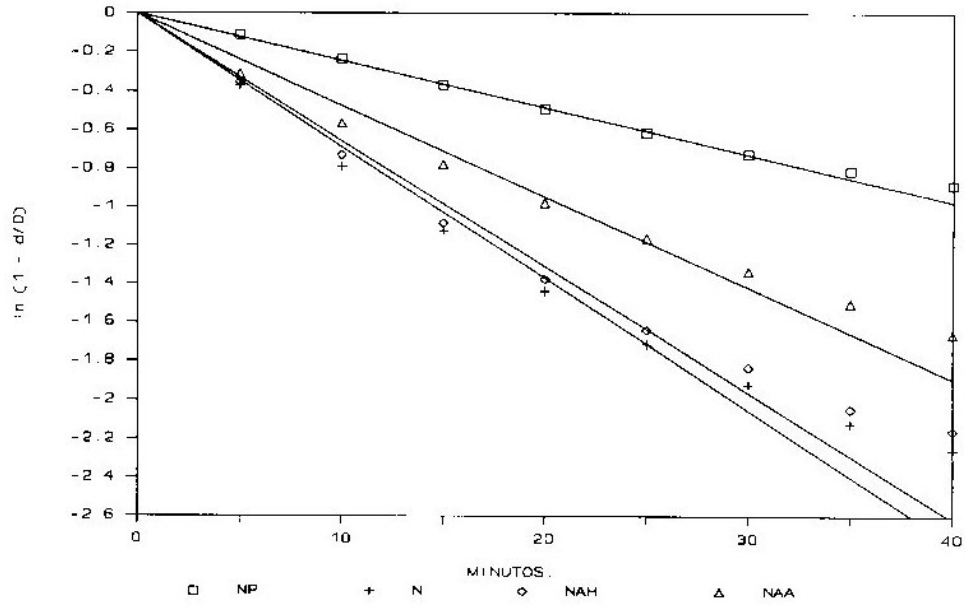
Ecuación que coincide con la propuesta por Stanford y Smith (1972) para explicar el proceso de mineralización del nitrógeno en el suelo.

Representando  $\ln \left| 1 - \frac{d}{D} \right|$  frente al tiempo, se obtiene una línea recta en el caso de

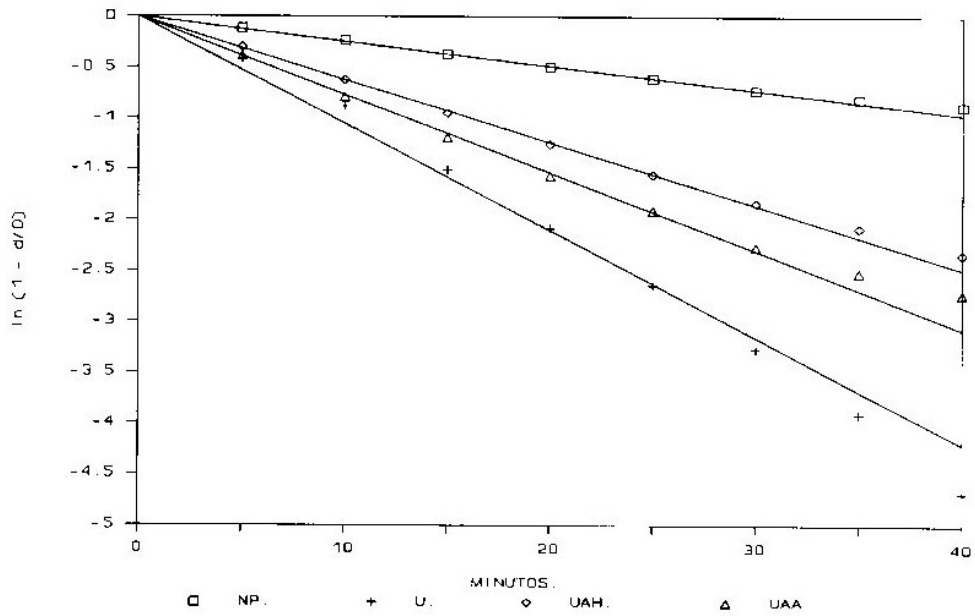
que los datos se ajusten a una cinética de primer orden; la pendiente de dicha recta coincide con el valor del parámetro K, cambiado de signo, y la ordenada en el origen se hace coincidir con el origen de coordenadas. Las gráficas correspondientes a nuestros resultados se expresan en las figuras 14 y 15.

Los datos correspondientes al coeficiente de correlación ( $r^2$ ), K y  $\tau_{1/2}$  (tiempo necesario para liberar el 50% del nitrógeno contenido en el fertilizante), de las representaciones gráficas anteriores, se presentan en la tabla V.

Se comprueba que el ajuste es muy bueno en todos los casos, y que tanto los valores de K como los de



**Figura 14:** Rectas correspondientes a NP, N, NAH y NAA, al representar  $\ln(1 - d/D)$  frente al tiempo.



**Figura 15:** Rectas correspondientes a NP, U, UAH y UAA, al representar  $\ln(1 - d/D)$  frente al tiempo.

$\tau_{1/2}$  sugieren comportamientos distintos entre los fertilizantes ensayados. En el caso del Nitrofoska la adición de ácidos húmicos no acarrea diferencias en su comportamiento, mientras que el ácido algínico produce una cierta modificación. Respecto a la urea se observa variación en los dos casos, siendo ésta más acusada con ácidos húmicos que con ácido algínico. El Nitrofoska Permanent presenta unos datos cinéticos que lo revelan como el de comportamiento más lento, resultado que cabía esperar por las características químicas de sus constituyentes.

**Tabla V:** Parámetros correspondientes al ajuste de los datos E.U.F. de los fertilizantes a una cinética de primer orden.

	$r^2$	$K$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$\tau_{1/2}$ (min.)
NP	0.9988	0.02426	28.5716
N	0.9739	0.06849	10.1204
NAH	0.9759	0.06543	10.5937
NAA	0.9628	0.04731	14.6512
U	0.9898	0.10519	6.5895
UAH	0.9989	0.06201	11.1780
UAA	0.9982	0.07682	9.0230



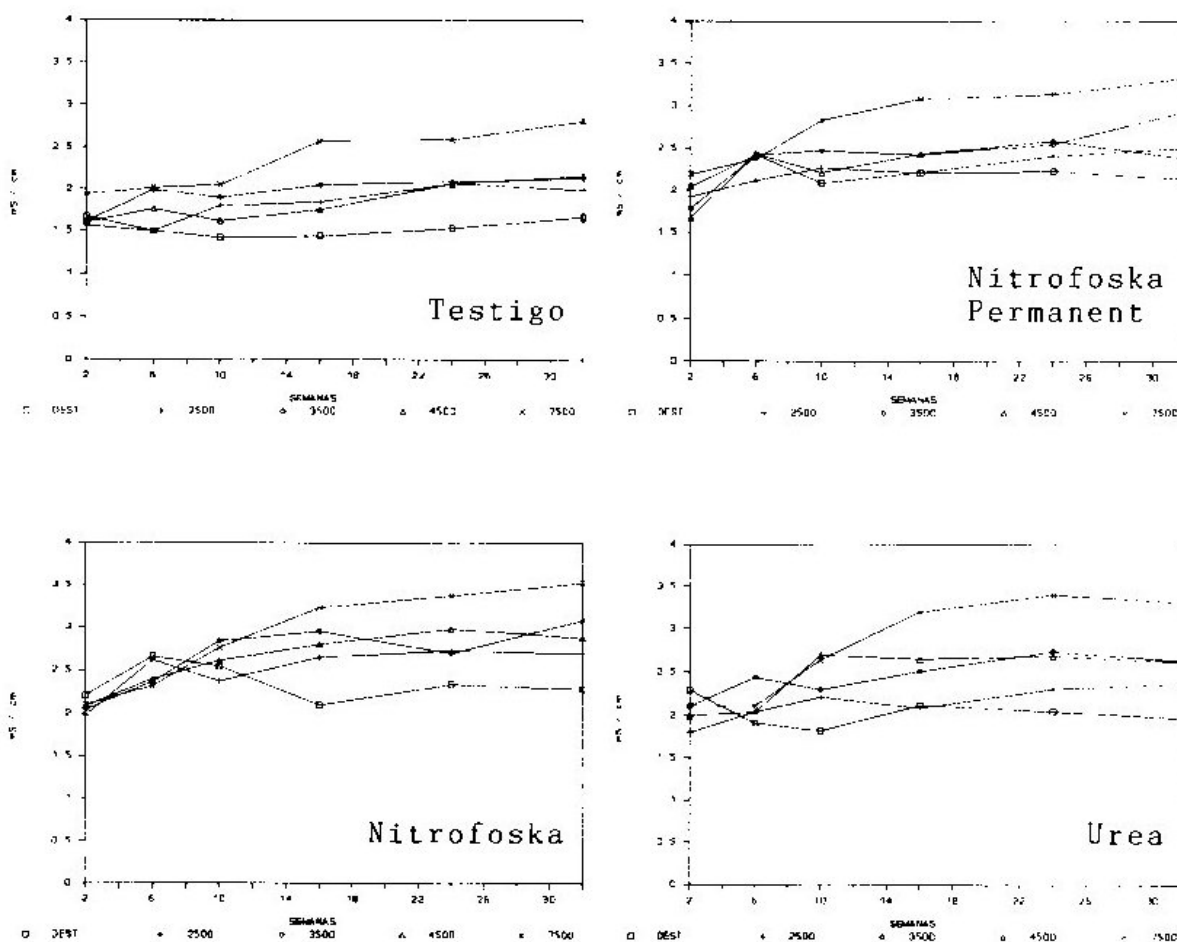
#### IV.2. CONDUCTIVIDAD.

Con el fin de estudiar la variación en conductividad de los suelos a lo largo de la experiencia, se determinó ésta en las tomas I, III, V, VII, IX y XI, obteniendo los resultados expuestos en el apéndice VII.

Se puede observar que como consecuencia de que en el testigo no hay fertilizantes que aporten especies químicas al medio, la conductividad de éste se encuentra por debajo de la de cualquier otro; además, los valores correspondientes a Nitrofoska (N) y sus modificaciones, suelen ser ligeramente superiores al resto debido a su mayor solubilidad.

La figura 16 muestra las evoluciones de T, NP, N y U para todos los riegos, se observa que en las primeras diez semanas la diferencia entre riegos es menor, y que a partir de ésta ya se perfilan tendencias propias. En el caso del riego con agua destilada los valores permanecen apreciablemente estables y por debajo de los demás tratamientos, mientras que con 2500, 3500 y 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se experimenta un aumento inicial que da paso a cierta estabilidad en las últimas tomas. Por su parte, el riego de 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  conduce a valores mayores que el resto y a un aumento continuado de la conductividad durante la experiencia, por lo que a partir de la toma VII (16<sup>a</sup> semana) las diferencias son ya bastante grandes. Este comportamiento es consecuencia de la capacidad tampón del

suelo que logra amortiguar el efecto de los riegos de 2500, 3500 y 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a partir de las diez semanas, pero no es capaz de hacerlo con el más salino.



**Figura 16:** Conductividad del suelo en cada toma, con los fertilizantes T, NP, N y U.

Consecuentemente, y debido a que la salinidad de los riegos se obtiene por disolución de NaCl, la estructura del suelo sufre un debilitamiento que es más importante conforme aumenta la conductividad del riego (Bolt, 1978.). En la fotografía 4 se muestra el estado del suelo al final de la experiencia, y permite comprobar que a partir de 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de salinidad en el agua de riego el

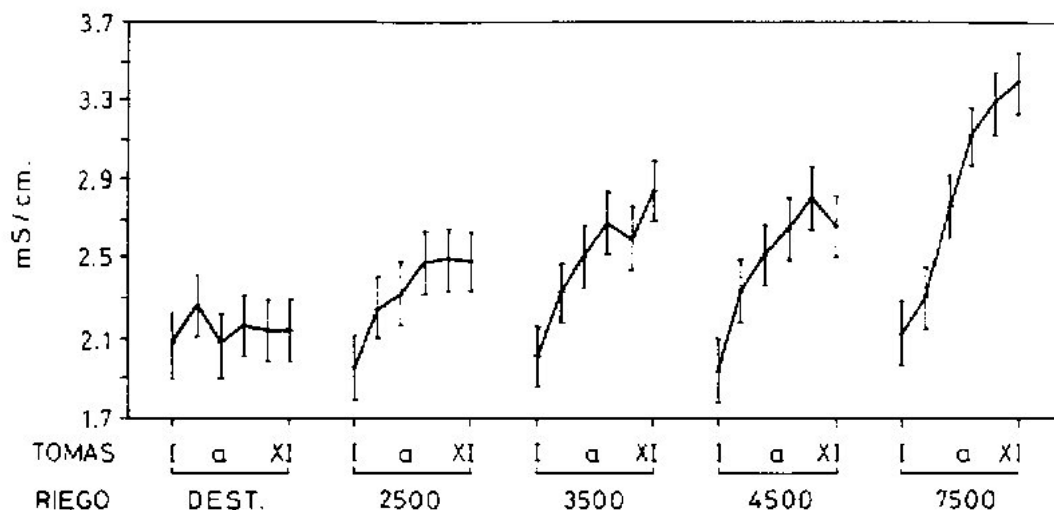
deterioro que se produce es muy importante.



**Fotografía 4:** Estado que presentan los suelos tratados al final de la experiencia, una vez eliminado el riego.

Como no se observan grandes variaciones entre los fertilizantes, y sí una dependencia de la conductividad con el tiempo y la salinidad del riego, se plantea el estudio estadístico de los datos agrupados por

los factores riego y toma, que arroja los resultados contenidos en el apéndice XXI y en la figura 17. Se puede apreciar que el valor de la conductividad que corresponde a agua destilada es similar en todas las tomas, mientras que con los riegos salinos se experimenta un apreciable incremento con el tiempo; éste es relativamente pequeño con 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , algo más pronunciado con 3500 y 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y muy acusado el correspondiente a 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figura 17:** Valores medios e intervalos de confianza (con 95% de significación) al agrupar por riego y toma.

En definitiva, basándonos en las evoluciones de la figura 17, las salinidades de los riegos se pueden clasificar en los grupos: agua destilada, baja salinidad: 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , salinidad moderada: 3500 y 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y alta salinidad: 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

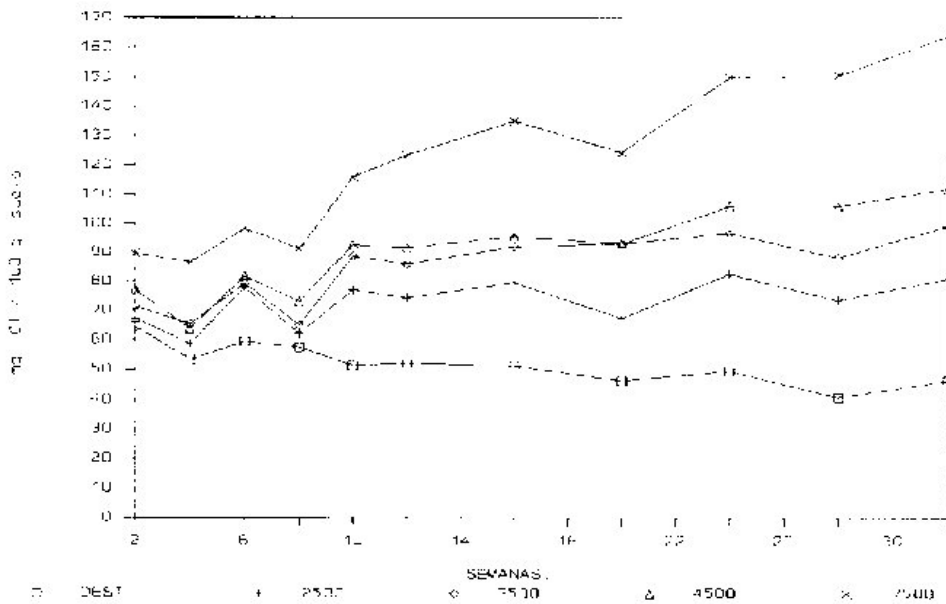
No obstante, los resultados que se muestran en la fotografía 4 indican que aunque los riegos de 3500 y

4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  generen conductividades en el suelo que son siempre estadísticamente comparables, el riego de 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tiene un efecto sobre la estructura del suelo superior al de 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por esta razón, en virtud de sus efectos, las salinidades empleadas en los riegos se podrían dividir en dos únicos grupos: el primero compuesto por agua destilada, 2500 y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y el segundo constituido por 4500 y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### IV.3. CLORURO.

Se ha evaluado el cloruro presente en cada tratamiento salino mediante el valor medio obtenido por análisis de algunas muestras de cada toma. Los resultados se expresan en el apéndice VIII.

La figura 18 muestra la evolución con el tiempo de estos valores. La cantidad de  $\text{Cl}^-$  acumulada es mayor conforme aumenta la salinidad del riego y el tiempo de experiencia, especialmente con el riego de 7500 uS/cm, a excepción del agua destilada que presenta una tendencia ligeramente descendente.



**Figura 18:** Cloruro correspondiente a cada toma, según el riego utilizado.

A partir de la 10ª semana (toma V) se

establece una diferencia clara entre las distintas salinidades, exceptuando los riegos de 3500 y 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  que discurren muy próximos entre sí durante más tiempo. Consecuentemente se pueden clasificar los riegos, atendiendo al contenido en cloruro que generan, en los grupos: agua destilada, baja salinidad: 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , salinidad moderada: 3500 y 4500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y alta salinidad: 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### IV.4. N-AMONIO.

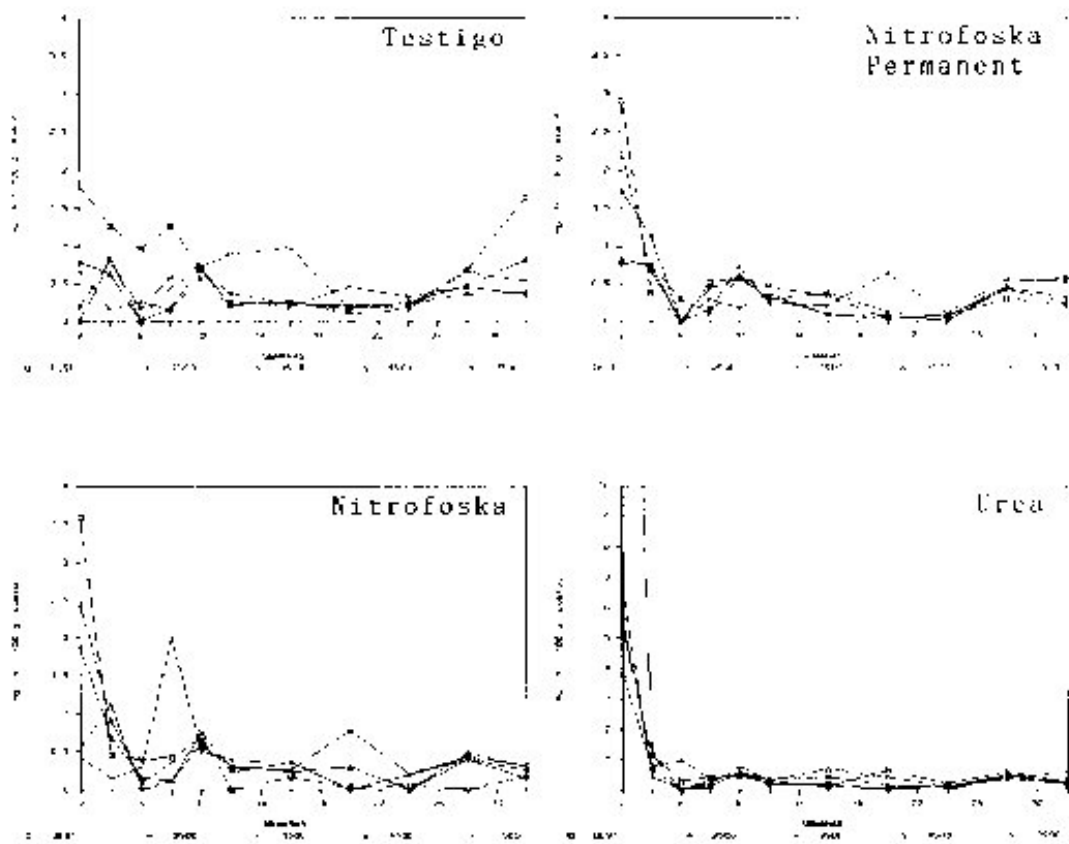
Los resultados de los análisis efectuados a los extractos E.U.F. correspondientes a las muestras de suelo, se expresan en los apéndices IX, X y XI.

Se observa que los valores obtenidos en la toma I son mayores que el resto, especialmente cuando se trata de fertilización a base de urea, mientras que en las demás tomas el valor es muy bajo, independientemente del fertilizante empleado.

La figura 19 muestra la evolución del  $\text{N-NH}_4^+$  con el tiempo y el riego para los tratamientos: testigo (T), Nitrofoska Permanent (NP), Nitrofoska (N) y urea (U). Es en la primera toma donde se obtienen cantidades que pueden ser diferenciadoras y, en particular, en el estudio correspondiente a urea. Los distintos riegos no parecen afectar de una manera determinada sobre los fertilizantes, a excepción de que es con agua destilada cuando, en todos los casos, se aprecia mayor cantidad de  $\text{NH}_4^+$  en la toma inicial.

Las figuras 20 y 21 comparan el Nitrofoska (N) y urea (U), respectivamente, con sus modificaciones. No se observan diferencias entre ellos, lo que indica que el recubrimiento adicional no ejerce una influencia apreciable sobre la liberación de  $\text{NH}_4^+$ .





**Figura 19:** Amonio correspondiente a T, NP, N y U en cada toma y riego.

El análisis estadístico se lleva a cabo mediante un MANOVA de Factores Simples, y se aplica a los grupos de datos formados por las parejas de factores fertilizante-toma y riego-toma, ya que interesa conocer si la diferencia apreciada entre tomas es o no significativa, y si depende ello de los distintos tratamientos con que se ha experimentado, tanto respecto a fertilizantes como a riegos. Los resultados, recogidos en el apéndice XXI, indican que tanto los distintos riegos como los diversos fertilizantes, presentan diferencias entre sí exclusivamente en

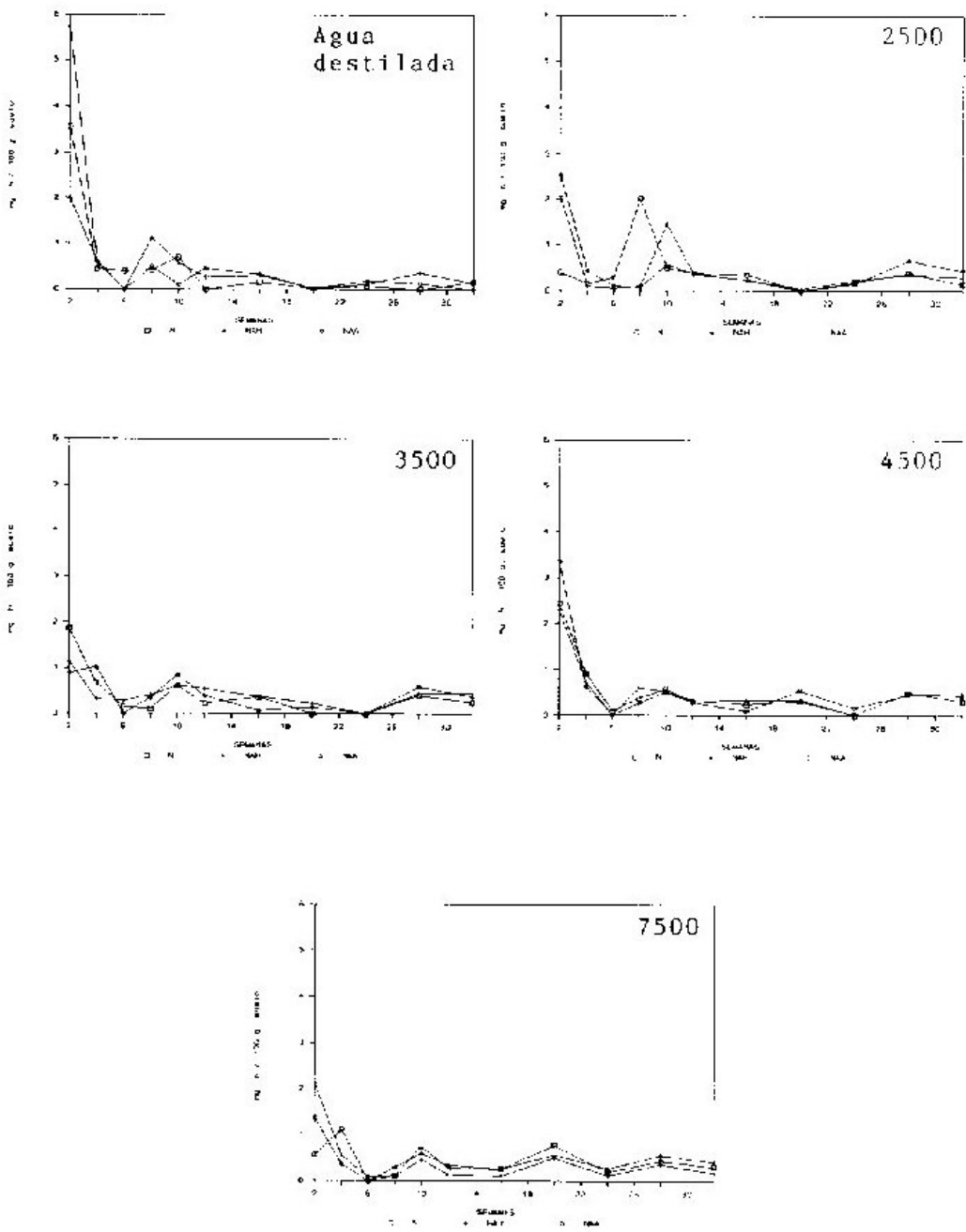
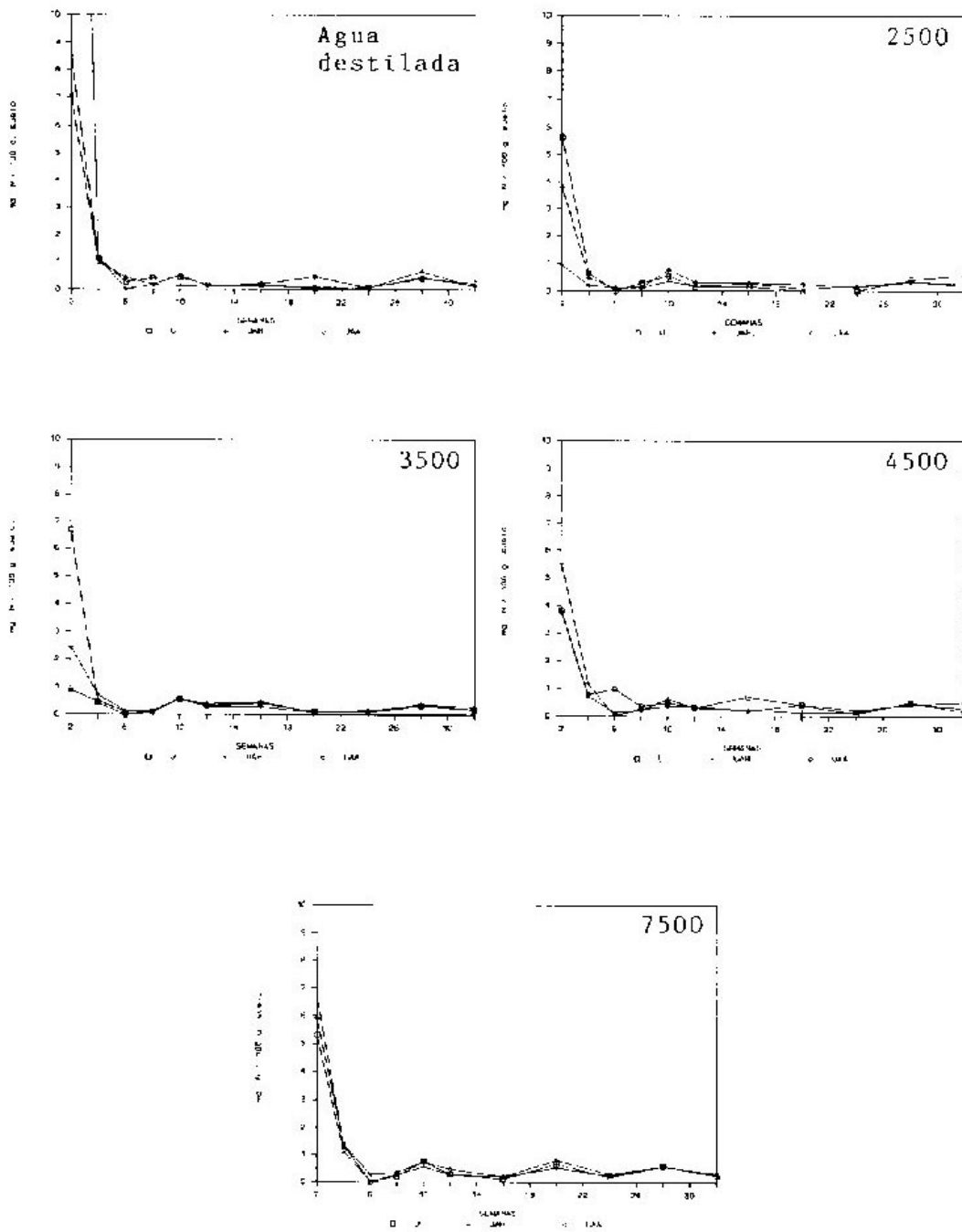


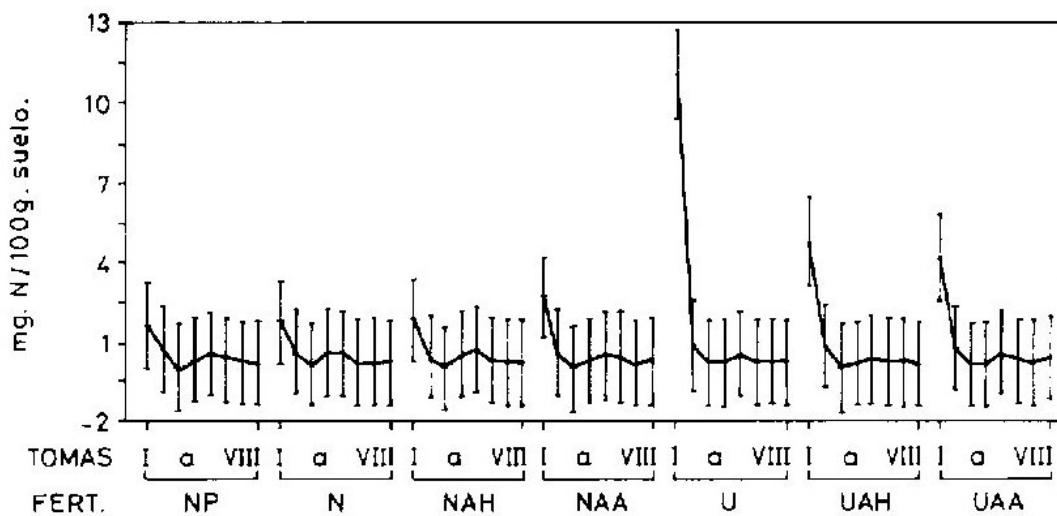
Figura 20: Amonio correspondiente a N, NAH y NAA en cada toma y riego.



**Figura 21:** Amonio correspondiente a U, UAH y UAA en cada toma y riego.

la toma I. Por otro lado, solamente se aprecia diferencias entre tomas cuando se trata de los fertilizantes a base de urea, y con los riegos de agua destilada y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

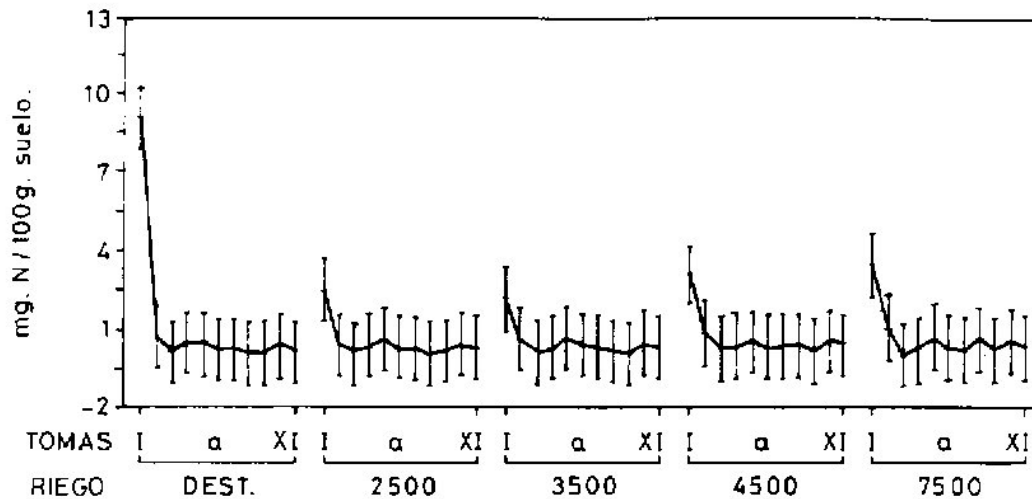
La figura 22 permite comprobar que es la urea y sus modificaciones quienes presentan una cantidad de  $\text{N-NH}_4^+$  en la toma I estadísticamente diferente al resto de tomas. Esta cantidad es superior a la análoga correspondiente al resto de fertilizantes, y es la urea (U) quien presenta el valor más elevado; urea con ácidos húmicos (UAH) y urea con ácido algínico (UAA) dan lugar a niveles de  $\text{NH}_4^+$  en la primera toma que, aunque no siempre son estadísticamente distintos, son superiores a los demás; este hecho, es consecuencia lógica de la distinta naturaleza de los fertilizantes, ya que los basados en Nitrofoska aportan únicamente el amonio soluble presente, el Nitrofoska Permanent lo libera poco a poco como fertilizante lento



**Figura 22:** Valores medios e intervalos de confianza (con 95% de significación) al agrupar por fertilizante y toma.

que es, y los basados en urea han de experimentar una hidrólisis inicial, cuyo producto final es precisamente amonio.

Obtener cantidades apreciables únicamente en la primera toma está de acuerdo con diversos autores que establecen en seis días, o menos, la etapa de hidrólisis de la urea (Shimizu, 1986b; Kumar et al., 1988.), mientras que la diferencia entre urea y sus modificaciones puede inducir a pensar que los recubrimientos influyan sobre su hidrólisis en el suelo que, de hecho, se encuentra muy afectada por la presencia de materia orgánica (Singh y Bajwa, 1986), y ya han demostrado cierta influencia sobre el fertilizante en el ensayo E.U.F. a que han sido sometidos.



**Figura 23:** Valores medios e intervalos de confianza (con 95% de significación) al agrupar por riego y toma.

En la figura 23 se observa que el valor correspondiente a la toma I cuando el riego es con agua

destilada se encuentra muy por encima de los generados con el resto de riegos, indica que la presencia de salinidad en el riego, y por lo tanto en el medio, afecta a la liberación de amonio; este resultado no concuerda con la acumulación de  $\text{NH}_4^+$  experimentada en ensayos de incubación por otros investigadores (Kumar y Wagenet, 1985.; Singh y Bajwa, 1986.; Kumar et al., 1988.).

#### IV.5. N-NITRITO.

La cantidad de  $\text{N-NO}_2^-$  presente durante la experiencia es bastante pequeña, a excepción de la primera toma en que se miden cantidades apreciables (Tabla VI y apéndices XII y XIII), destacando que con agua destilada el tratamiento fertilizante a base de urea presenta un nivel bastante superior al resto.

En este caso, al igual que ocurre con amonio, el estudio estadístico debe incluir el factor toma, ya que su importancia en la evolución de los resultados se muestra muy evidente.

El correspondiente MANOVA de Factores Simples arroja los resultados que se recogen en el apéndice XXI. Todos los niveles de salinidad del riego y todos los fertilizantes presentan diferencias entre las tomas, a excepción del riego más salino y de los fertilizantes Nitrofoska (N) y Nitrofoska con ácido algínico (NAA), mientras que solamente en la toma I es cuando existen diferencias significativas entre riegos y entre fertilizantes.

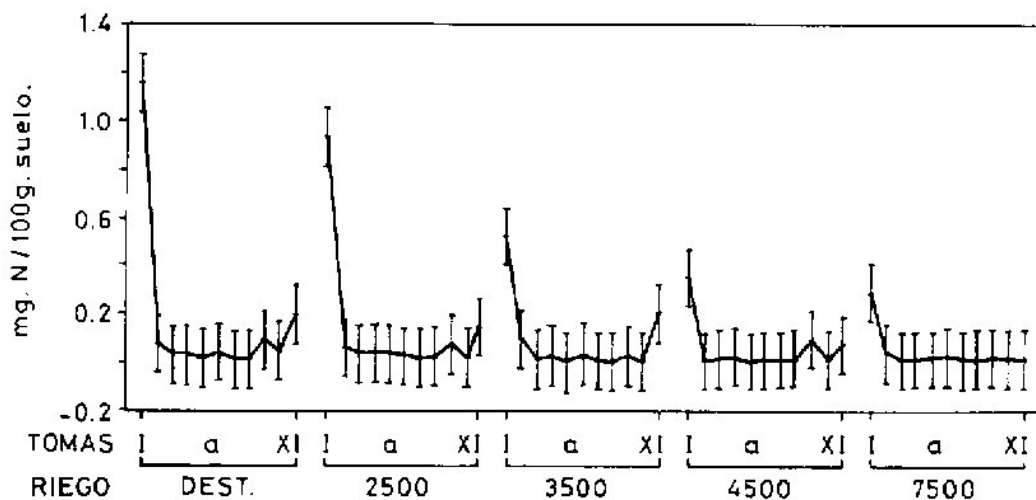
La figura 24 compara los grupos formados con los factores riego y toma, se aprecia que el valor correspondiente a la primera toma es mayor que el resto, y que al aumentar la salinidad del riego se experimenta un ostensible descenso, hasta el extremo de que con el riego de  $7500 \mu/\text{cm}$  no hay diferencia significativa entre la

**Tabla VI:** Valores de nitrato obtenidos durante la experiencia (mg. N/100 g. de suelo).

		TOMAS	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
		SEMANAS	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32
RIEGO	FERT.												
DEST.	T		0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3
	NP		0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3
	N		0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4
	NAH		0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,4
	NAA		0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
	U		2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	UAH		2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	UAA		1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2500	T		0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NP		0,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,2
	N		0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NAH		1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
	NAA		0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
	U		0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
	UAH		0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	UAA		1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3500	T		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NP		0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
	N		0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	NAH		1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NAA		0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	U		0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
	UAH		0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	UAA		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4500	T		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NP		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0
	N		0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
	NAH		0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NAA		0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	U		0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	UAH		0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
	UAA		0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7500	T		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
	NP		0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	N		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NAH		0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	NAA		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	U		0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	UAH		0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	UAA		0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

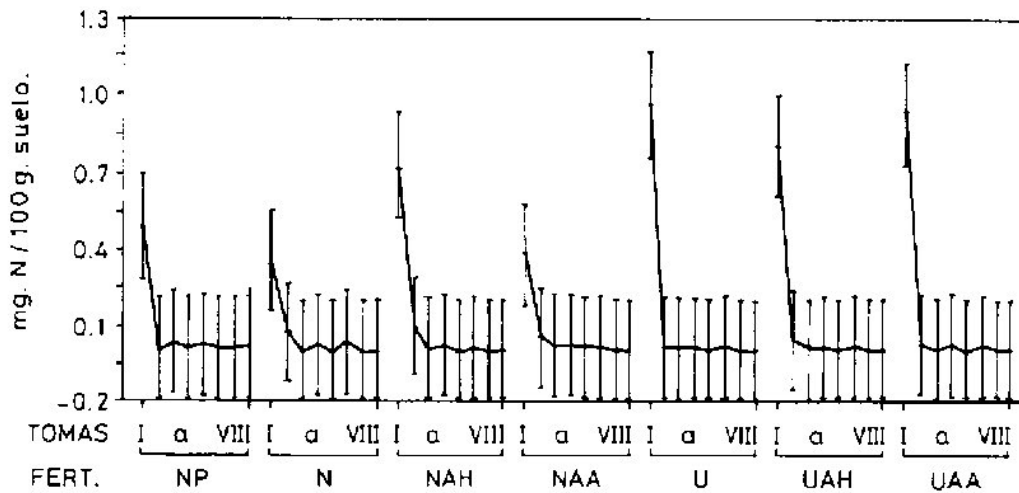


primera toma y las demás. Es importante, además, la diferencia observada entre los niveles obtenidos con agua destilada, 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en los tres riegos más salinos sus valores son estadísticamente comparables, pudiéndose agrupar en dos categorías: agua destilada y 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por una parte, y las salinidades de 3500, 4500 y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por otra.



**Figura 24:** Valores medios e intervalos de confianza (con 95% de significación) al agrupar por riego y toma.

La figura 25 muestra el resultado del análisis estadístico basado en los factores fertilizante y toma, se observa que es en todas las fertilizaciones a base de urea donde se presenta mayor cantidad de  $\text{N-NO}_2^-$ , y no se aprecian diferencias entre la urea y la urea recubierta. El Nitrofoska con ácidos húmicos (NAH) da lugar a un valor superior a sus análogos aunque estadísticamente comparable a todos ellos.



**Figura 25:** Valores medios e intervalos de confianza (con 95% de significación) al agrupar por fertilizante y toma.

Estos hechos tienen una relación obvia con el proceso de mineralización del nitrógeno. La salinidad puede afectar a la formación y la oxidación de  $\text{NO}_2^-$ , favorecer o perjudicar estos procesos implicaría acumulación o desaparición, respectivamente, de esta especie química. Mc Clung y Frankenberger (1985) y Kumar et al. (1988) observan, en estudios de incubación, que el aumento de la salinidad conduce a acumulación de  $\text{NO}_2^-$ , por afectar más a *Nitrobacter* (microorganismo responsable de la oxidación del  $\text{NO}_2^-$ ) que a *Nitrosomonas* (microorganismo responsable de la oxidación del  $\text{NH}_4^+$ ), mientras que en nuestro caso se observa lo contrario, esto es, el aumento de la salinidad conduce a un menor contenido de  $\text{NO}_2^-$ .

Con el aumento de la salinidad del riego también se experimenta una disminución en el contenido de

amonio que, unido a su íntima relación con el nitrito, induce a pensar en cuatro posibilidades que expliquen los hechos experimentados al aumentar la salinidad del riego:

- a) Mayor velocidad en el proceso global de formación de nitrato,
- b) Favorecer la pérdida de nitrógeno por desnitrificación,
- c) Favorecer la desaparición de amonio por volatilización de amoniaco, y
- d) Menor velocidad de disolución, y/o hidrólisis, del fertilizante ensayado.

#### IV.6. N-NITRATO.

Los apéndices XIV, XV y XVI contienen los valores correspondientes a esta especie química, y se representan gráficamente en las figuras 26, 27 y 28.

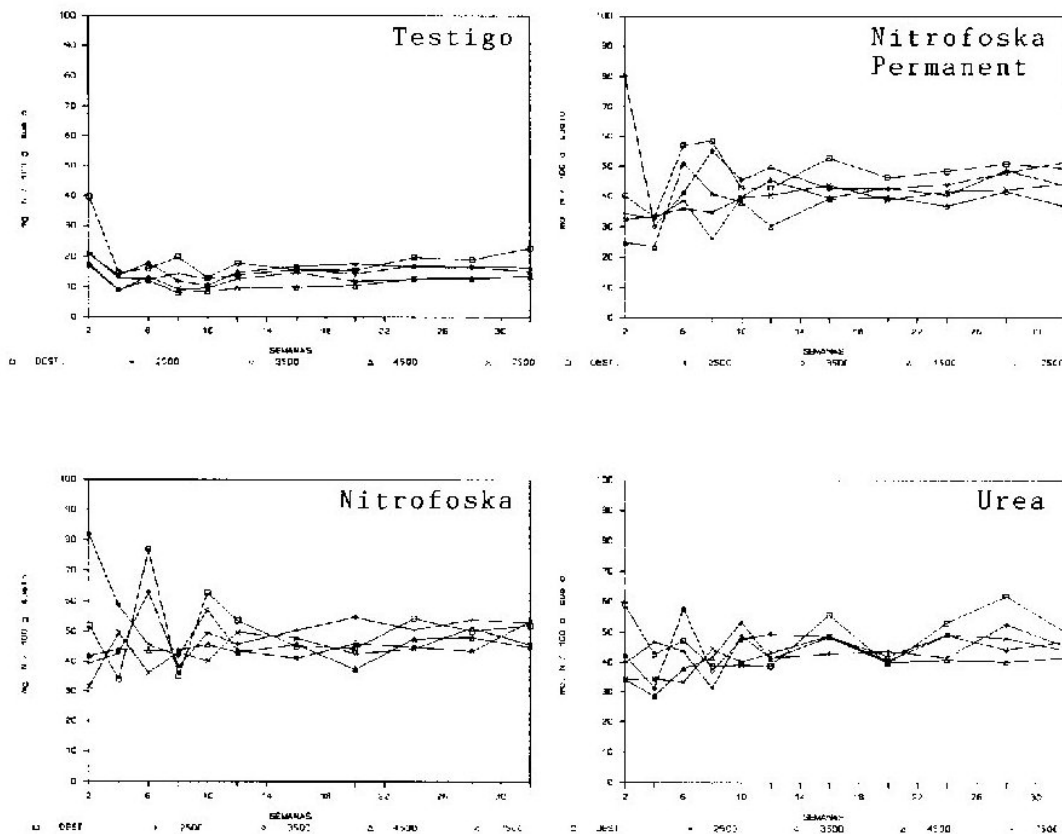
La figura 26 corresponde a las evoluciones de T, NP, N y U, con cada uno de los riegos empleados. Se aprecia una considerable dispersión de los datos en las primeras doce semanas, que se atenúa considerablemente en el resto. No se observa que el fertilizante, el riego o la toma afecten de alguna forma en el nivel de nitrato presente en cada tratamiento.

Las modificaciones de los fertilizantes basados en Nitrofoska (N) y urea (U) se comparan en las figuras 27 y 28, respectivamente. Tampoco se aprecia influencia del recubrimiento sobre el comportamiento del fertilizante, ya que las evoluciones y valores son muy similares durante toda la experiencia y con todos los riegos, incluso en las primeras semanas.

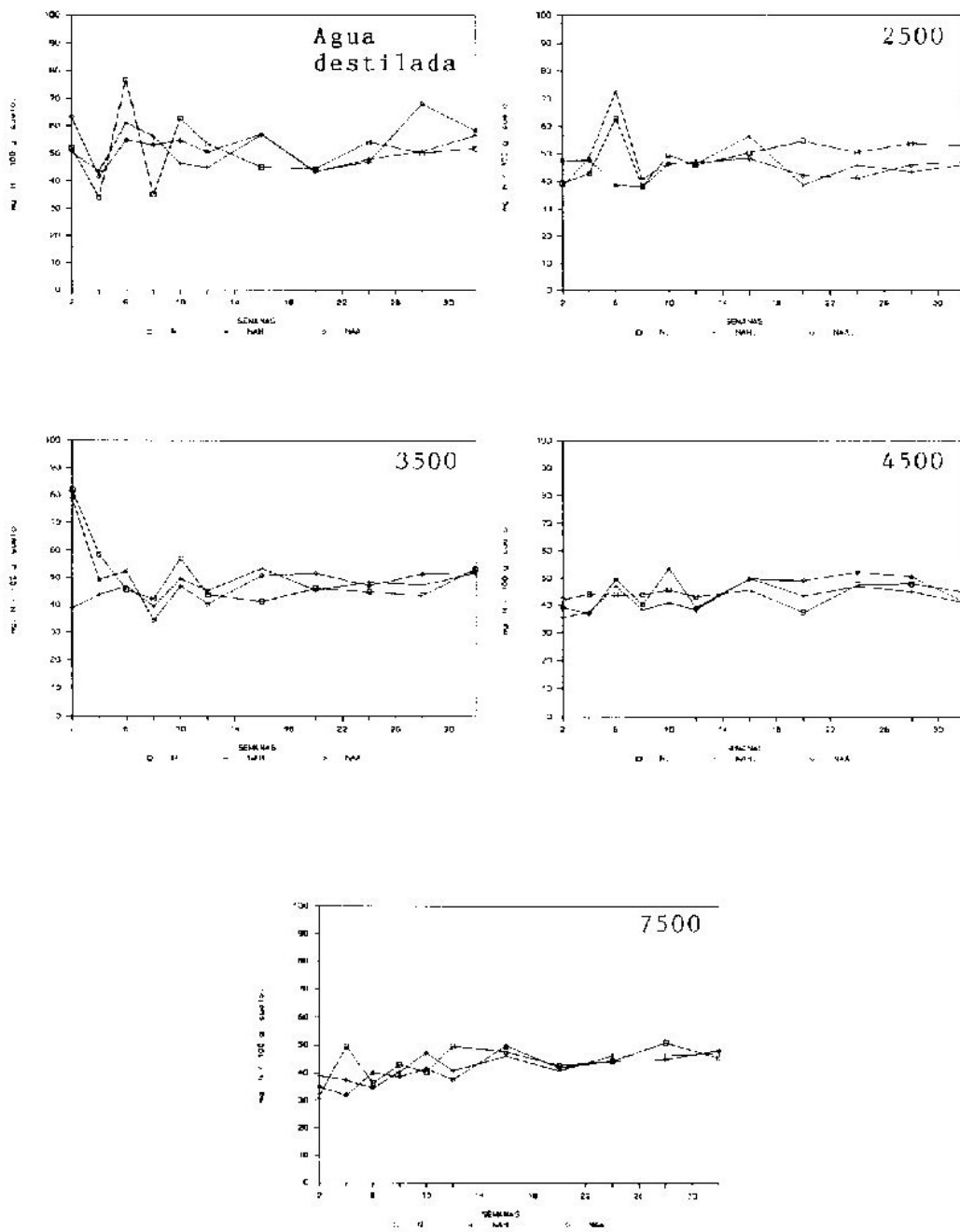
La ausencia de indicios a partir de las comparaciones anteriores conduce a que no exista preferencia respecto a los factores que deban emplearse en el análisis estadístico bifactorial. Con esta premisa se muestrean las diferencias entre los grupos de datos obtenidos atendiendo a dos de los factores involucrados en la experiencia, de manera que son tres los análisis que se

deben llevar a cabo (Apéndice XXI).

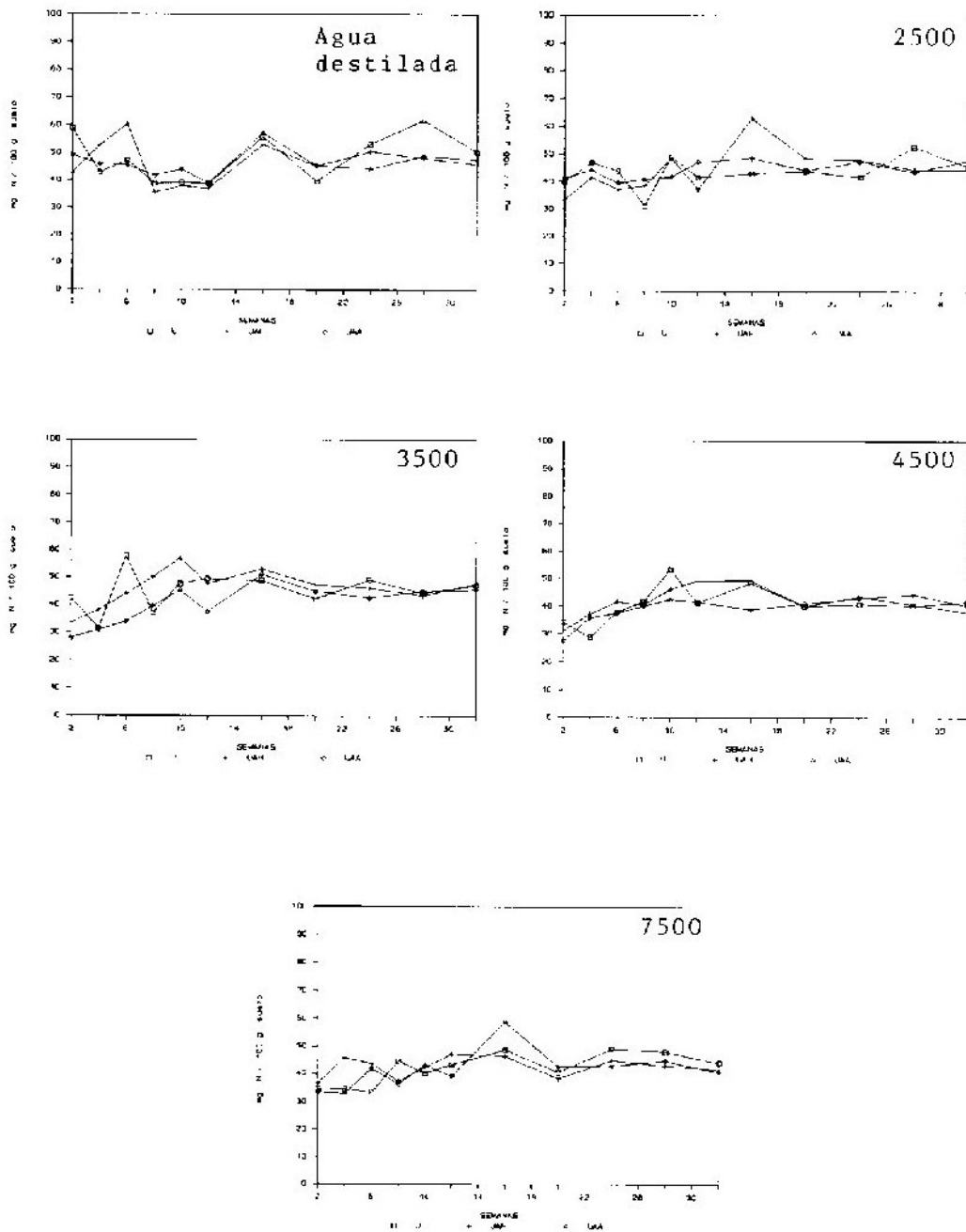
Cuando se agrupa atendiendo a riego y toma (Figura 29), únicamente es de destacar que con los riegos más salinos: 4500 y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  la tendencia es creciente durante las primeras semanas, a diferencia de los otros tres, hecho que puede estar relacionado con un cierto efecto retardador de la salinidad del riego sobre la aparición de  $\text{NO}_3^-$ . Además se insinúa un menor contenido en  $\text{NO}_3^-$  cuando la salinidad del riego aumenta.



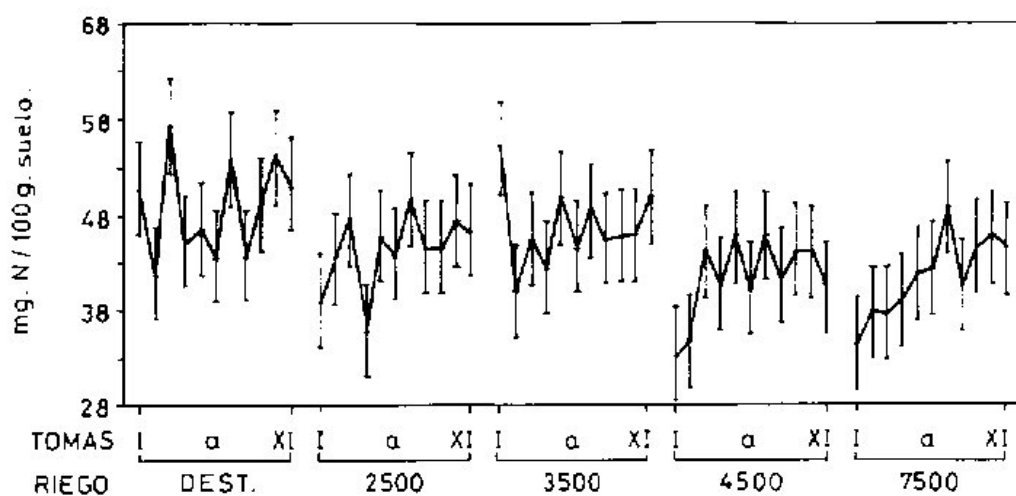
**Figura 26:** Nitrato correspondiente a T, NP, N y U en cada toma y riego.



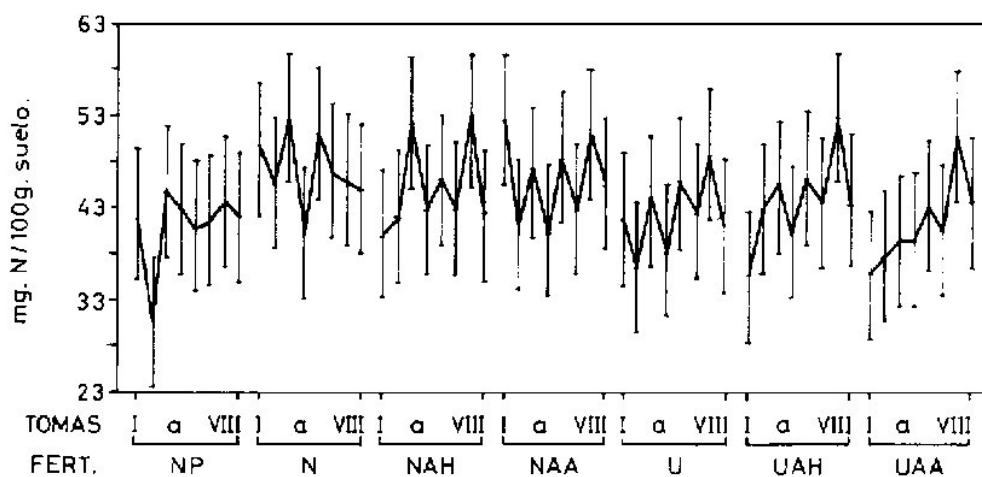
**Figura 27:** Nitrato correspondiente a N, NAH y NAA en cada toma y riego.



**Figura 28:** Nitrato correspondiente a U, UAH y UAA en cada toma y riego.



**Figura 29:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por riego y toma.



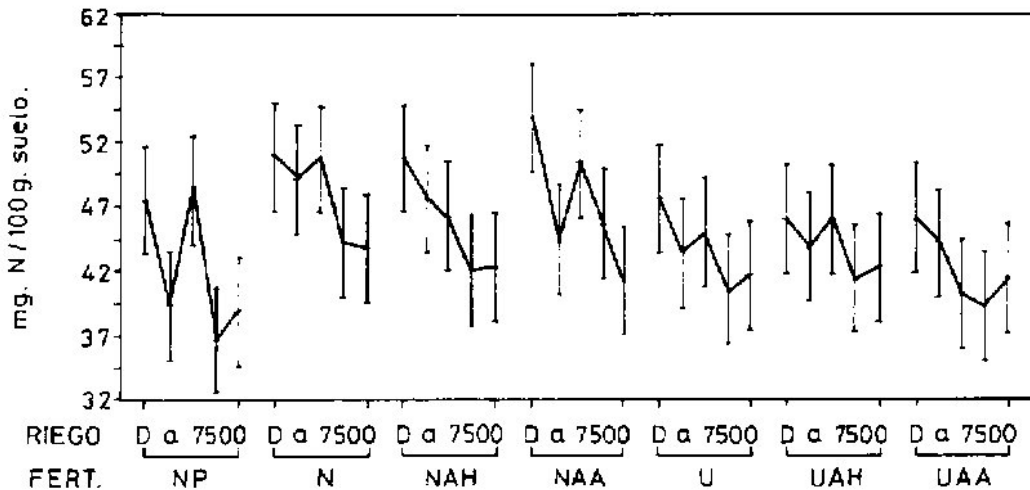
**Figura 30:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por fertilizante y toma.

Respecto a los factores fertilizante y toma (Figura 30), se observa que los fertilizantes urea (U), urea con ácidos húmicos (UAH) y urea con ácido algínico (UAA) presentan una evolución apreciablemente ascendente con el tiempo, debido probablemente a que sea de naturaleza



orgánica, extremo que no comparten el resto de fertilizantes.

Por último, los grupos constituidos al agrupar por riego y fertilizante (Figura 31) presentan diferencias significativas entre riegos cuando se trata de Nitrofoska Permanent (NP), Nitrofoska con ácidos húmicos (NAH) y Nitrofoska con ácido algínico (NAA), y entre fertilizantes cuando el riego es de 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En este caso se aprecia, con más claridad que en la figura 29, que el aumento de salinidad del riego conduce a un menor contenido de nitrato en el medio.

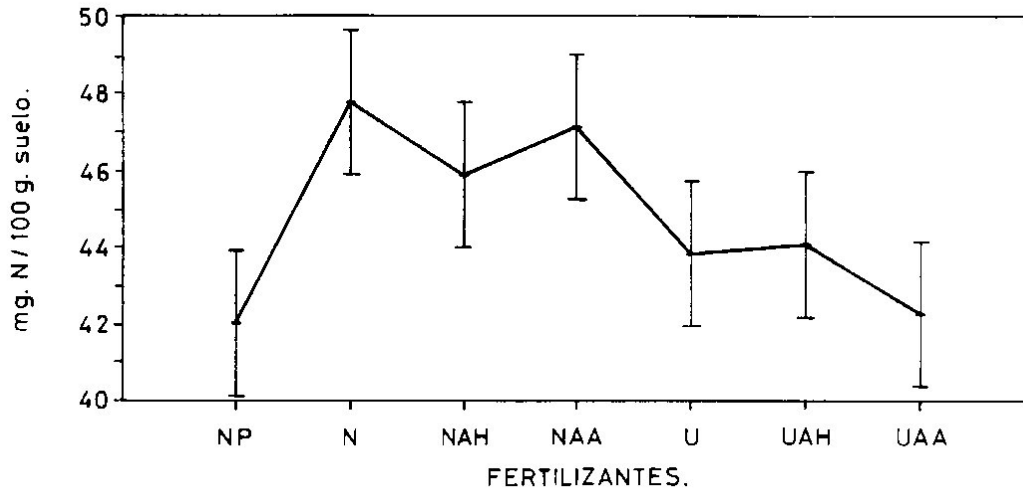


**Figura 31:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por riego y fertilizante.

Los resultados obtenidos indican la necesidad de estudiar las diferencias entre los grupos generados por un solo factor, de todos ellos se excluye el factor toma por ser el único cuya influencia no se destaca en las

comparaciones efectuadas. El análisis estadístico que se aplica en este caso es el que corresponde a un MANOVA Unifactorial.

En la figura 32 se plasman los resultados del análisis aplicado a los grupos formados por las siete categorías diferentes del factor fertilizante. Cada fertilizante y sus modificaciones presentan valores muy similares entre sí, por lo que se mantiene que los materiales agregados en superficie no presentan una influencia decisiva sobre la liberación del nitrógeno. Por su parte,

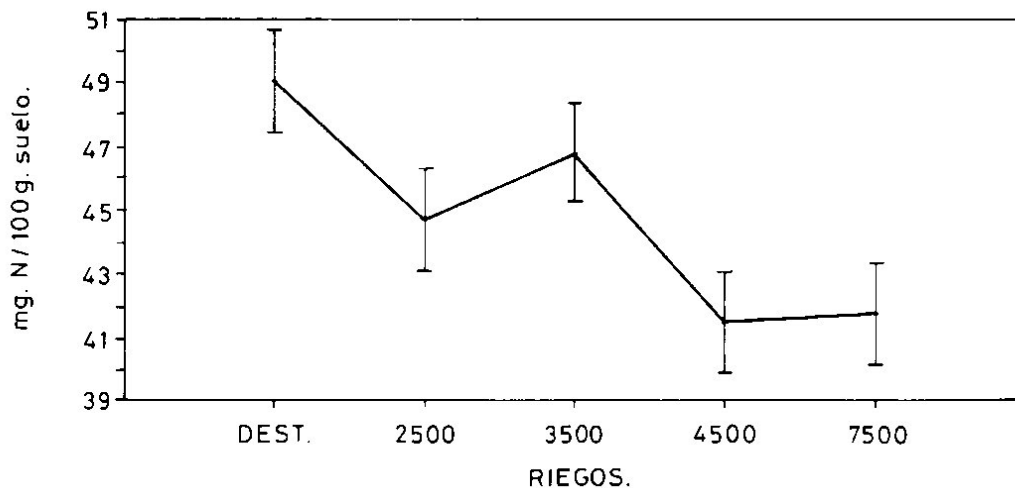


**Figura 32:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por fertilizante.

Nitrofoska (N) y sus modificaciones conducen a valores por encima de los demás fertilizantes, con diferencias significativas o casi significativas, que podría explicarse por el carácter lento del Nitrofoska Permanent (NP), y por una eventual pérdida de nitrógeno o formación de N-orgánico en

el caso de urea (U), urea con ácidos húmicos (UAH) y urea con ácido algínico (UAA).

La figura 33 corresponde a los grupos formados por las cinco categorías del factor riego. En ella se aprecia la indiscutible influencia de la salinidad sobre el nitrato presente en el medio, que conduce a un valor cada vez más pequeño a medida que aumenta el contenido en sales del tratamiento. La similitud que se observa entre algunos riegos los agrupa en las siguientes categorías: agua destilada, riegos de salinidad moderada (2500 y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y riegos de salinidad alta (4500 y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Figura 33:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por riego.

Los últimos resultados depuran las hipótesis formuladas en el apartado anterior. Por un lado, no se aprecia evidencias de que la velocidad de formación del nitrato aumente con la salinidad del riego, pero en cambio

debe incluirse la posibilidad de que se haya producido la inmovilización en formas orgánicas de una parte del nitrógeno aportado.

#### IV.7. N-MINERAL.

El resultado de sumar el nitrógeno presente en forma de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  constituye el contenido en nitrógeno mineral a lo largo de la experiencia (Apéndice XVII), es de esperar que su comportamiento sea análogo al del nitrato, ya que los valores de esta especie química son los que poseen mayor influencia en el nivel de aquélla.

Las representaciones gráficas de la figura 34 muestran que las evoluciones son muy similares en todos los riegos, y sin tendencias concretas con el tiempo.

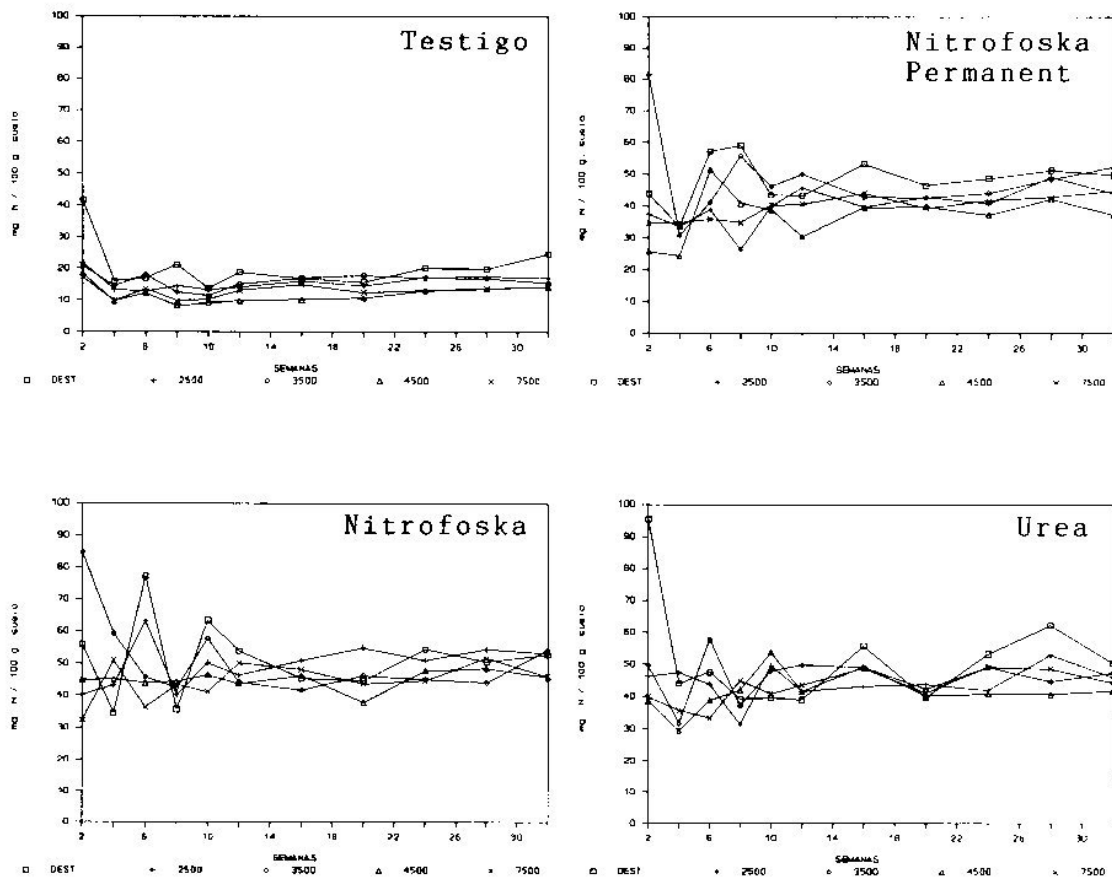


Figura 34: N-mineral correspondiente a T, NP, N y U en cada toma y riego.

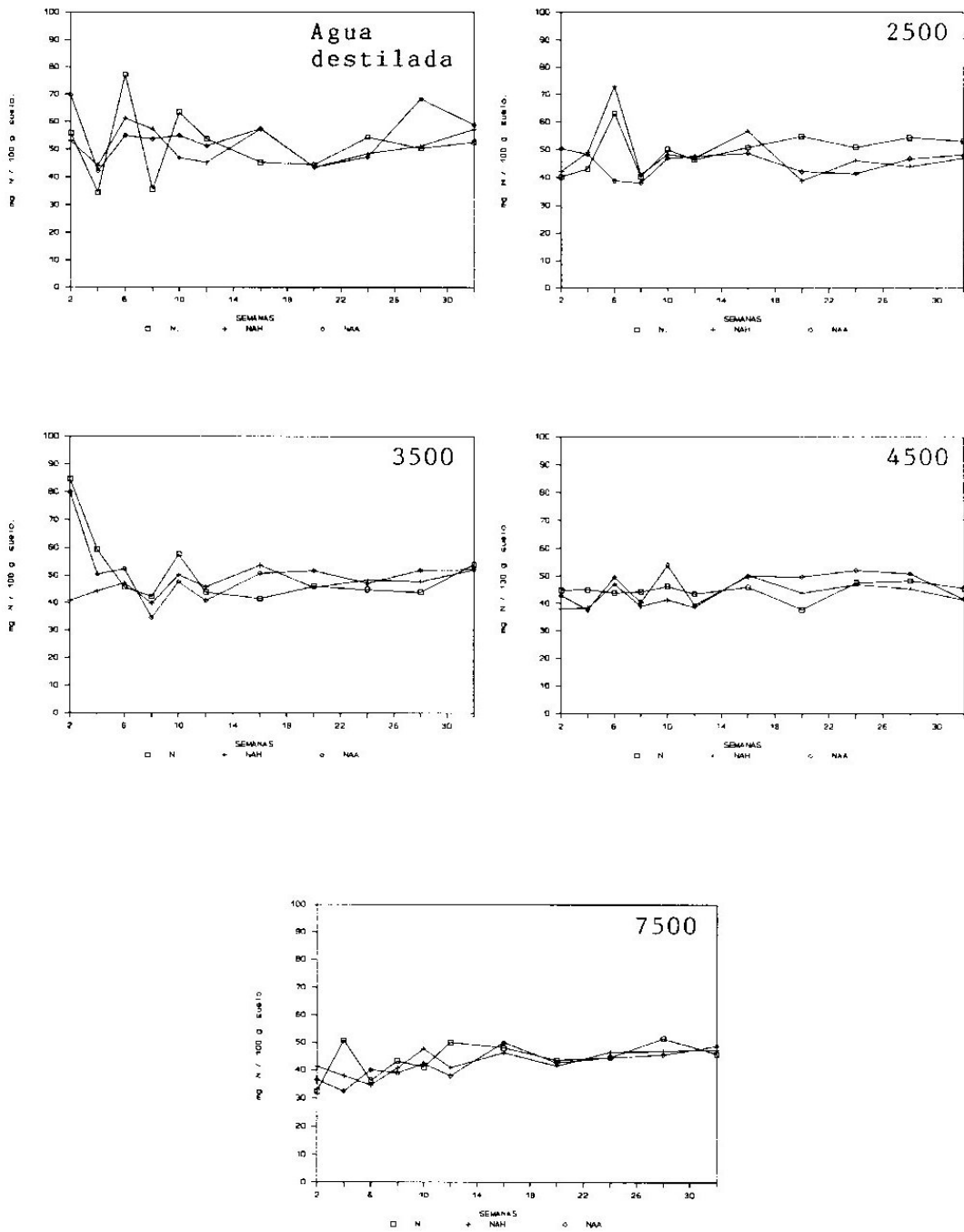
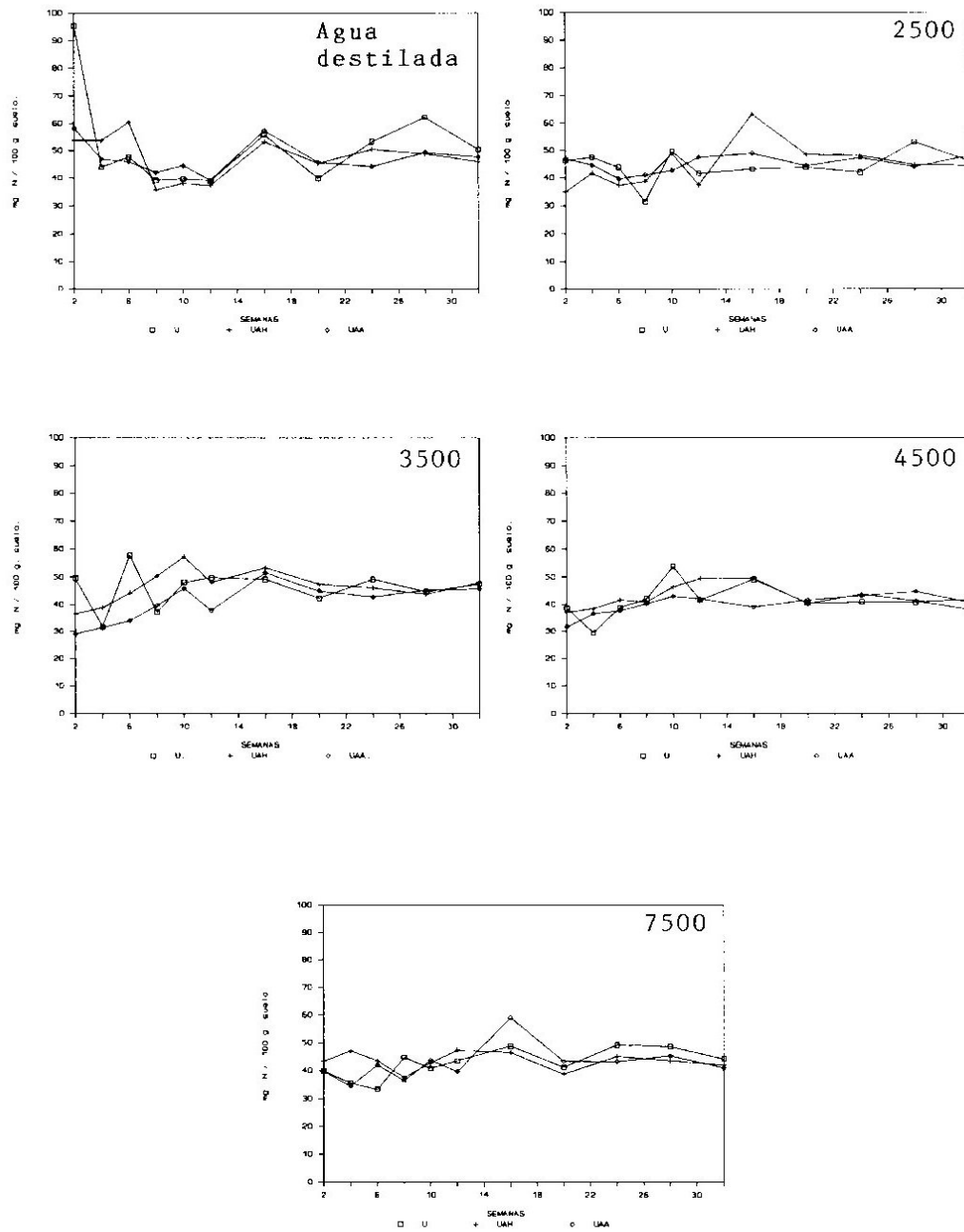


Figura 35: N-mineral correspondiente a N, NAH y NAA en cada toma y riego.

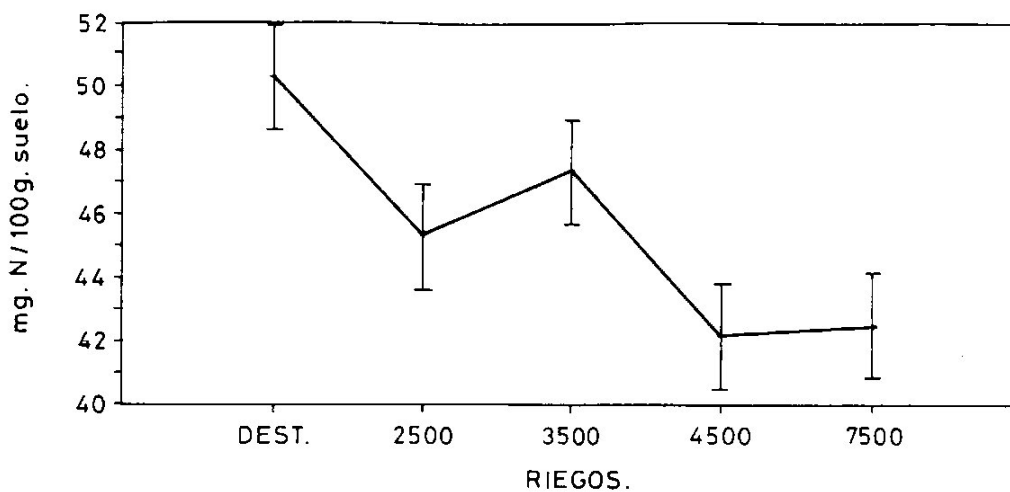


**Figura 36:** N-mineral correspondiente a U, UAH y UAA en cada toma y riego.

En las figuras 35 y 36 se comparan los fertilizantes Nitrofoska (N) y urea (U) con sus modificaciones. Las evoluciones son muy similares entre sí, lo que indica que el recubrimiento con ácidos húmicos (AH) y ácido algínico (AA) tampoco afecta a la evolución de este parámetro.

El análisis estadístico de los datos mediante el MANCOVA de Factores Simples arroja los resultados contenidos en el apéndice XXII. Como cabía esperar por su similitud con el nitrato, ninguno de los tres análisis presenta diferencias notables entre los grupos comparados.

Los resultados del MANCOVA Unifactorial aplicado a los datos agrupados por el factor riego se representan en la figura 37.



**Figura 37:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por riego.



Es muy similar a su homóloga correspondiente al nitrato y conduce a las mismas hipótesis propuestas en la discusión de aquél como explicación a sus resultados, esto es:

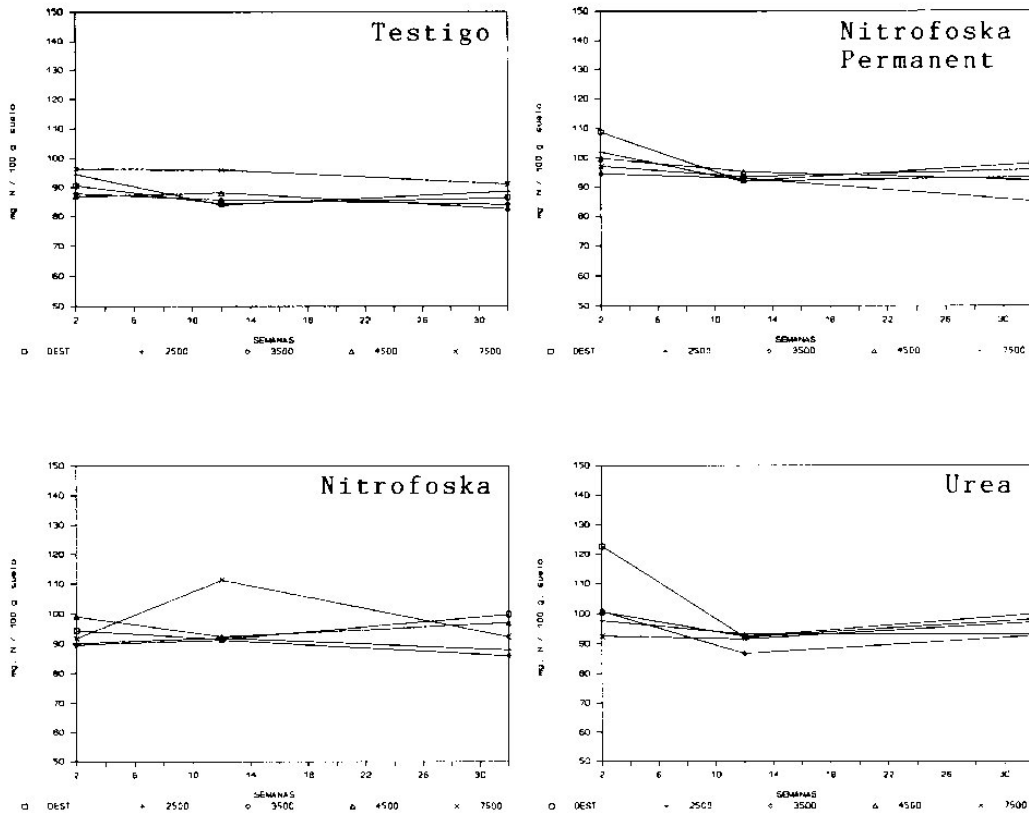
- \* Un posible descenso en la solubilidad de los fertilizantes empleados como consecuencia de la creciente salinidad del riego, y
- \* Favorecimiento de los procesos que conduzcan a la inmovilización del nitrógeno en formas orgánicas, o a la pérdida del mismo por volatilización o desnitrificación.

De nuevo se pueden clasificar las salinidades empleadas en el riego en tres grupos estadísticamente diferentes: Agua destilada, salinidad moderada: 2500 y 3500  $\mu\text{/cm}$  y alta salinidad: 4500 y 7500  $\mu\text{S/cm}$ .

#### IV.8. N-ORGANICO.

En esta ocasión interesa conocer el balance global del parámetro más que el seguimiento detallado de su evolución a lo largo de la experiencia, por lo que se consideró suficiente analizar tan sólo las tomas I, VI y XI.

El contenido en N-orgánico se estimó mediante la diferencia entre los valores de N-Kjeldahl y  $N-NH_4^+$  determinados previamente (Apéndices XVIII y XIX).



**Figura 38:** N-orgánico correspondiente a T, NP, N y U en cada toma y riego.

La figura 38 compara las evoluciones que corresponden a T, NP, N y U. Se observa que no hay diferencias notables entre las distintas tomas, a excepción de algún caso aislado que no reviste especial interés.

Las figuras 39 y 40 comparan los fertilizantes Nitrofoska (N) y urea (U) con sus modificaciones. La similitud que siguen presentando estas evoluciones es indicativa de la poca o nula influencia que tienen los recubrimientos aplicados a los fertilizantes, cuando éstos actúan en el suelo.

El estudio estadístico de los datos agrupados por los factores riego y fertilizante (Apéndice XXII) tampoco revela diferencias que aporten nueva información, por lo que se aplica un MANCOVA Unifactorial a los datos agrupados únicamente por el factor riego. Los resultados, que se exponen en la figura 41, revelan que los riegos con agua destilada y con alta salinidad: 4500 y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no presentan diferencia estadística entre sí, así como los correspondientes a salinidad moderada: 2500 y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; no obstante, éstos se encuentran por debajo de aquéllos y se observan diferencias significativas, o casi significativas, entre los dos grupos. Este descenso del contenido en N-orgánico cuando se trata de salinidades moderadas puede ser explicado si pensamos que bajo estas condiciones exista un incremento en la mineralización de la materia orgánica presente en el suelo, hecho que está de acuerdo con otras experiencias en las que se concluye que la presencia de salinidad

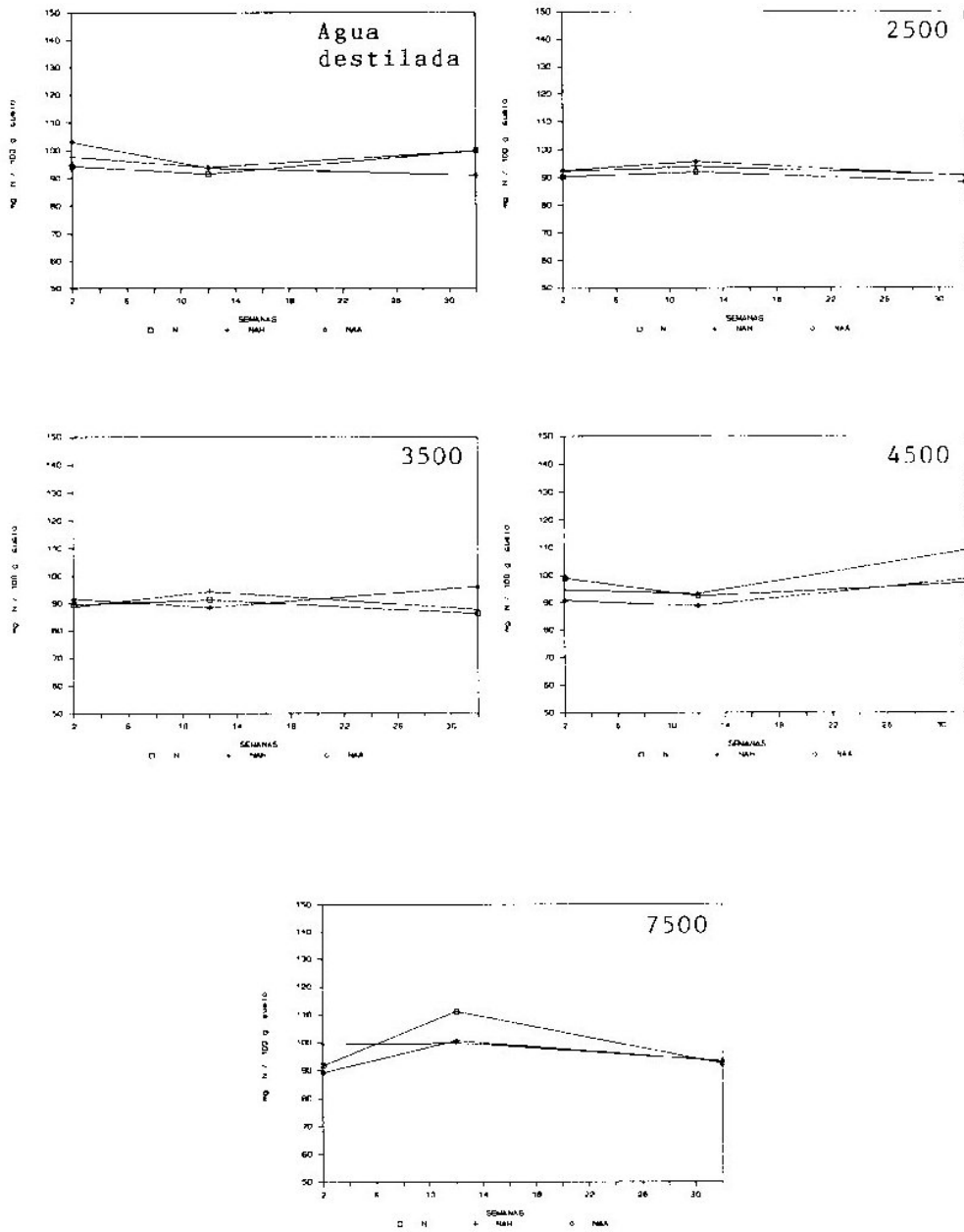


Figura 39: N-orgánico correspondiente a N, NAH y NAA en cada toma y riego.

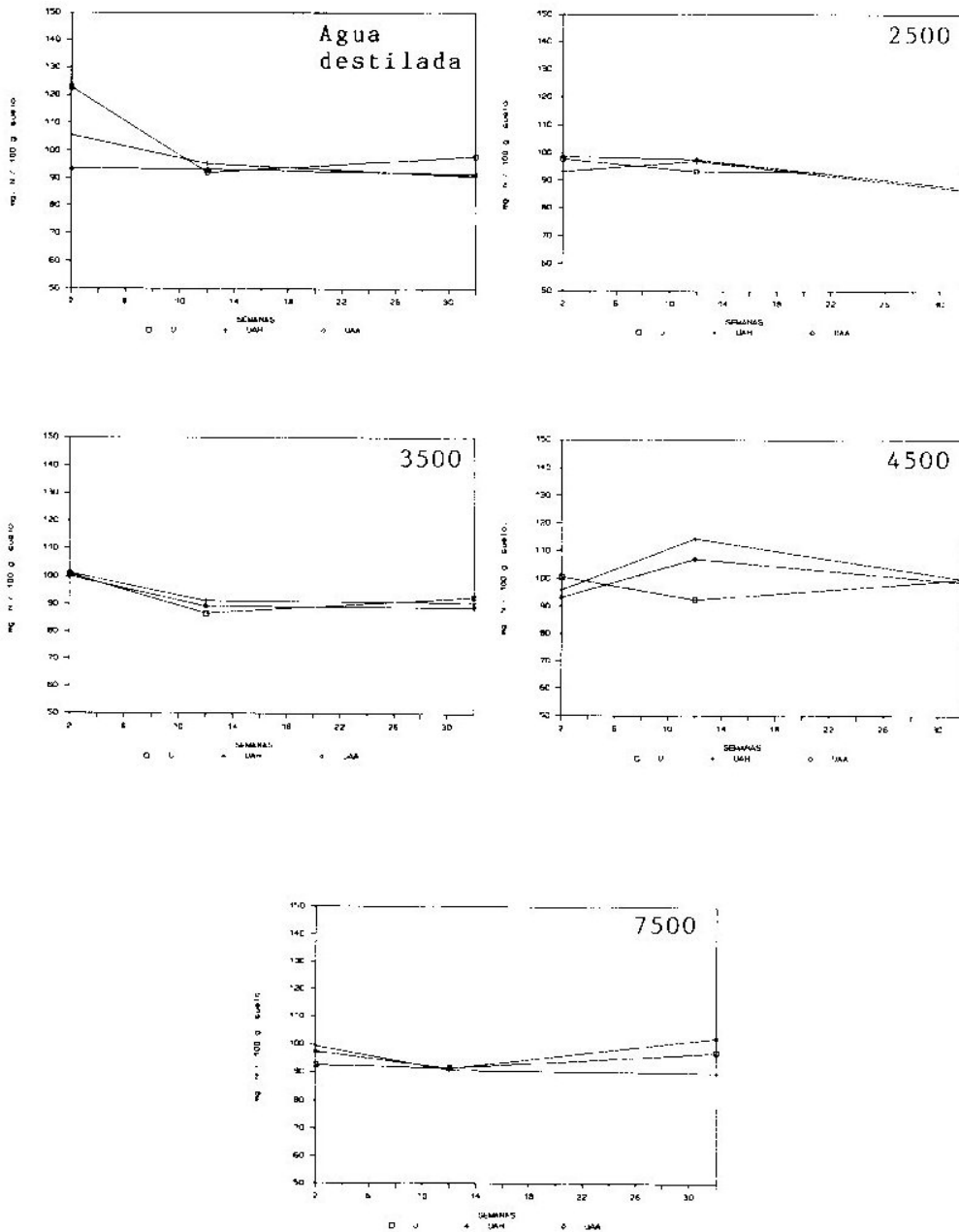
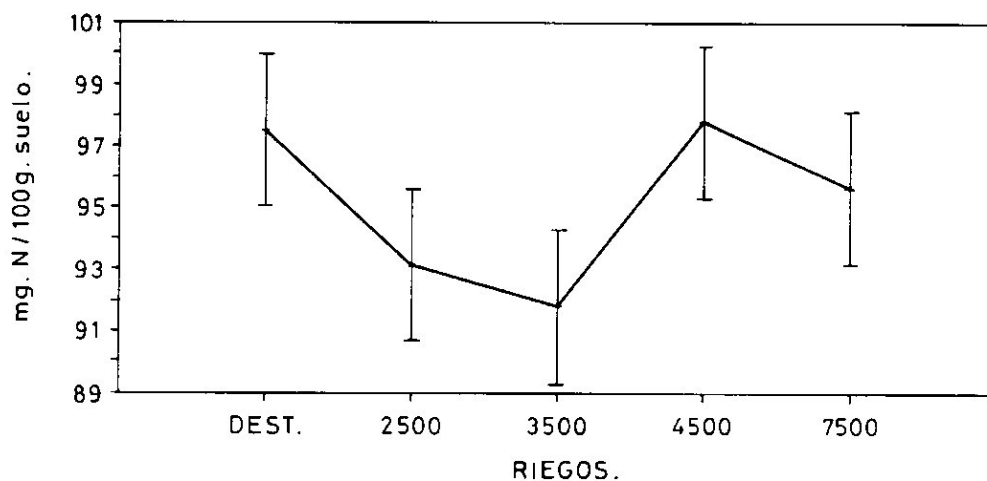


Figura 40: N-orgánico correspondiente a U, UAH y UAA en cada toma y riego.

moderada en la disolución del suelo favorece la mineralización del nitrógeno orgánico presente (García-Serna et al., 1988.).



**Figura 41:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por riego.

En la misma figura se aprecia que no se produce acumulación de N-orgánico en el medio y, por lo tanto, debe descartarse la hipotética inmovilización de N-mineral en N-orgánico, destacando que incluso es el proceso contrario el que se lleva a cabo en condiciones de salinidad moderada (2500 y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En consecuencia, la disminución del contenido en N-mineral al aumentar la salinidad del riego debe atribuirse exclusivamente a pérdidas por volatilización y desnitrificación, o a una menor disolución de los fertilizantes en condiciones salinas.

Debido a que las mayores pérdidas se llevan a cabo cuando se aportan riegos salinos, especialmente con

las salinidades más elevadas, parece poco probable que éstas se deban a la fijación de  $\text{NH}_4^+$  por las arcillas del suelo ya que, además de que su presencia es efímera, debería competir con los cationes que aporta el riego durante toda la experiencia y a concentraciones mayores que la suya propia. También debe descartarse la percolación como explicación que justifique las pérdidas observadas, ya que se trata de un cauce que queda excluido de la experiencia por el riguroso control llevado a cabo en la gestión del riego.

#### IV.9. N-TOTAL.

Los valores correspondientes a la suma del N-orgánico y N-mineral representa el nitrógeno total presente en los tratamientos estudiados, los resultados se recogen en el apéndice XX.

La figura 42 compara las evoluciones de T, NP, N y U en todos los riegos. Se observa cierta constancia entre las tomas VI y XI, mientras que la primera suele presentar mayor dispersión.

The figure consists of four line graphs arranged in a 2x2 grid, each showing the evolution of total nitrogen (N-total) in mg N / 100 g suelo over 30 weeks for five different treatments: DEST (control), 2500, 3500, 4500, and 7500. The x-axis for all graphs is 'SEMANAS' (Weeks) with markers at 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, and 30. The y-axis is 'mg N / 100 g suelo' ranging from 80 to 220. The graphs are titled: 'Testigo' (top-left), 'Nitrofoska Permanent' (top-right), 'Nitrofoska' (bottom-left), and 'Urea' (bottom-right). In all graphs, the 7500 treatment (marked with 'x') shows the highest initial N-total, which generally decreases or stabilizes over time. The DEST treatment (marked with '□') shows the lowest N-total, which remains relatively stable. The 2500, 3500, and 4500 treatments (marked with '+', 'o', and 'Δ' respectively) show intermediate values that tend to converge towards the DEST level by week 30.

Figura 42: N-total correspondiente a T, NP, N y U en cada toma y riego.

131



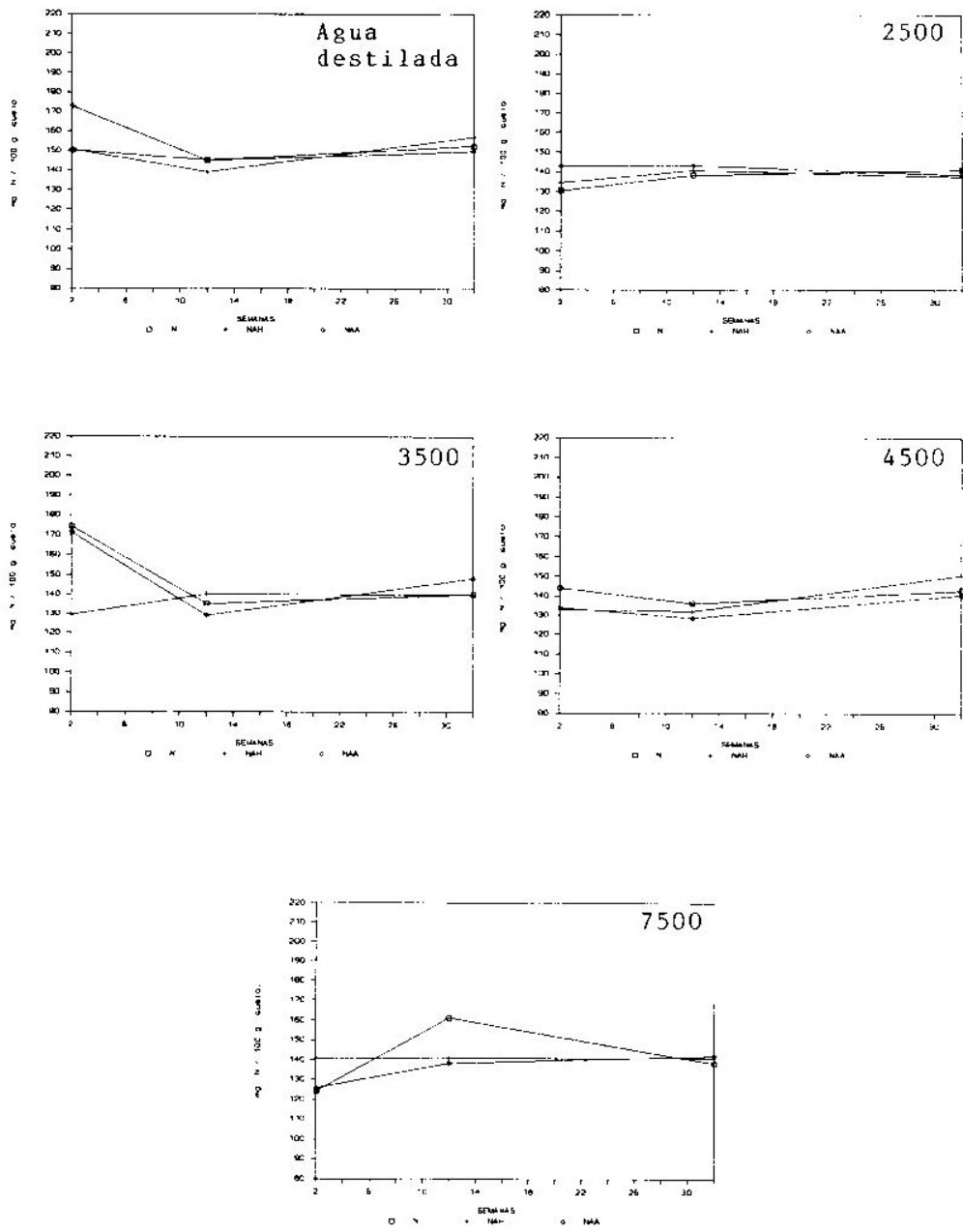
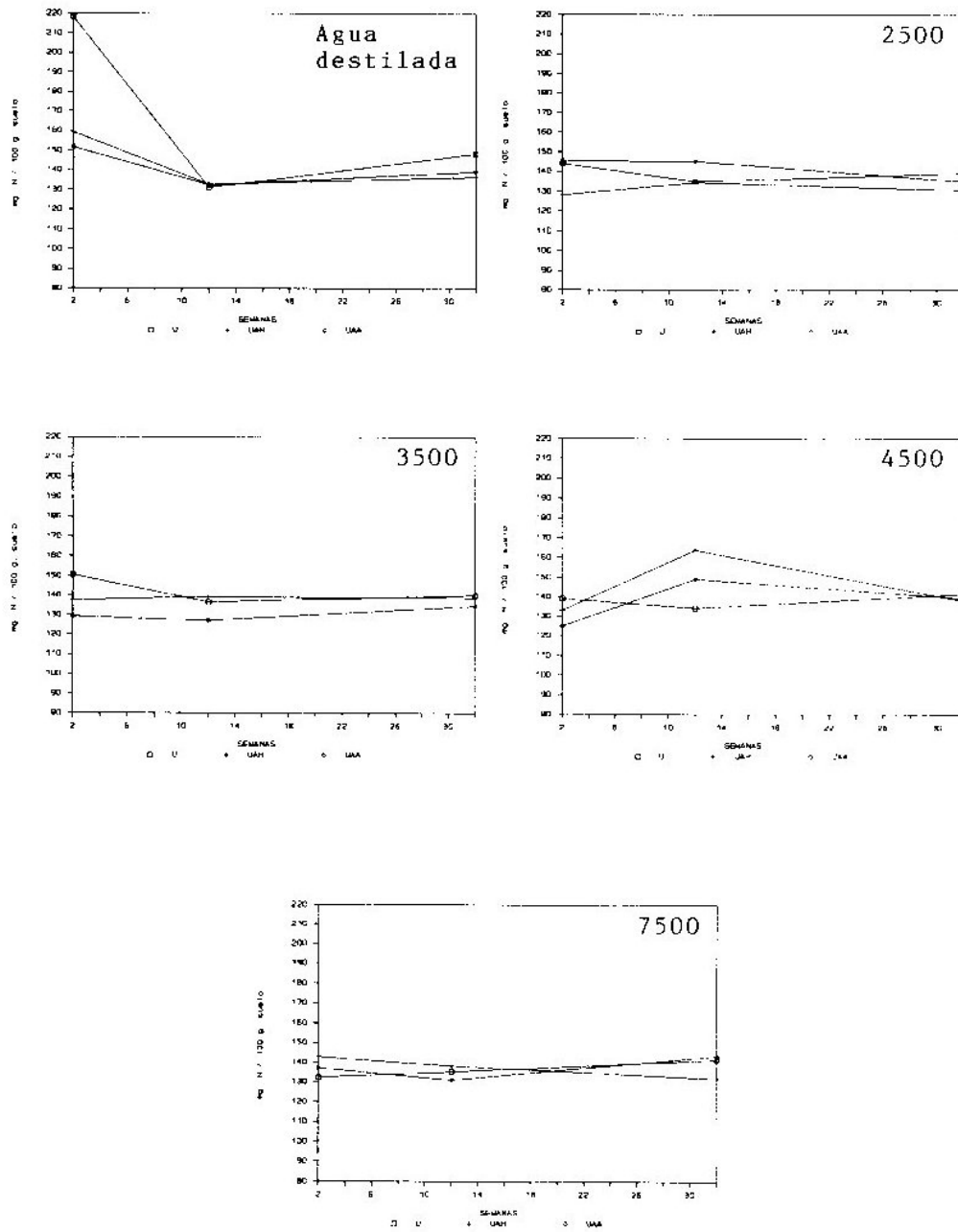


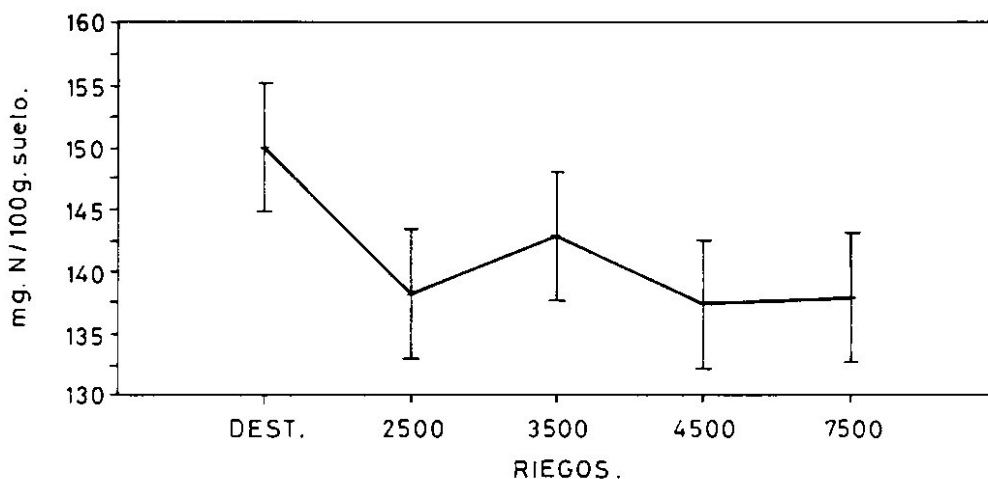
Figura 43: N-total correspondiente a N, NAH y NAA en cada toma y riego.



**Figura 44:** N-total correspondiente a U, UAH y UAA en cada toma y riego.

Los distintos recubrimientos tampoco influyen sobre el comportamiento del N-total en las condiciones de la experiencia (Figuras 43 y 44), que es consecuente con los resultados del resto de parámetros.

El estudio estadístico de los datos aplicando el MANCOVA de Factores Simples no presenta diferencias significativas en la mayoría de los casos (Apéndice XXII). De nuevo todos los grupos son, en general, estadísticamente iguales entre sí.



**Figura 45:** Valores medios e intervalos de confianza (al 95% de significación) al agrupar por riego.

La figura 45<sup>1</sup> muestra los resultados del

---

<sup>1</sup> Nótese que aunque el valor de N-total se calcula mediante la suma del N-mineral y N-orgánico correspondientes a la toma analizada, los resultados expuestos en la figura 45 no coinciden con la suma de los análogos correspondientes a N-mineral y N-orgánico (Figuras 37 y 41); la explicación reside en que mientras el resultado de N-mineral se calcula en base a las once determinaciones efectuadas, los de N-orgánico y N-total tan solo comportan tres valores a lo largo de toda la experiencia.

MANCOVA Unifactorial aplicado a los datos agrupados por el factor riego, se aprecia que el valor alcanzado con el riego de agua destilada es superior y estadísticamente distinto a cualquiera de los correspondientes a riegos salinos, mientras que éstos son comparables entre sí.

Este último resultado refuerza la conclusión a la que se llega en el apartado anterior, donde se decía que salinidades moderadas favorecen la mineralización del nitrógeno orgánico presente, ya que una vez comprobado que el valor de N-total es comparable en todos los riegos salinizados (Figura 45), las diferencias que presentan N-mineral y N-orgánico (Figuras 37 y 41) entre los riegos de salinidad moderada (2500 y 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y de alta salinidad (4500 y 7500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) solamente se pueden atribuir a esta razón.

Además, concluye definitivamente que las pérdidas de nitrógeno se ven favorecidas por la presencia de salinidad en el riego, que puede afectar bien por sí misma como por su contenido en cloruro. El hecho de que las cuatro salinidades conduzcan a los mismos resultados en cuanto a pérdidas, puede indicar que sea el cloruro el principal responsable, y que a partir del nivel alcanzado con el riego de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  la influencia sea la misma independientemente de su concentración y de la salinidad total. Esta conclusión estaría de acuerdo con otros autores quienes afirman que el efecto tóxico del cloruro es más importante que el osmótico derivado de su concentración

(Roseberg et al., 1986.; Darrah et al., 1987.); aunque, por otro lado, induce a pensar que la salinidad y el cloruro afecten sobre aspectos diferentes.