

Minimización de los daños por salinidad en cítricos mediante la fertilización nitrogenada

A. Quiñones, B. Martínez-Alcántara, M. Garcés y F. Legaz.

Centro de Citricultura y Producción Vegetal. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

Los cítricos son un cultivo sensible a la salinidad, que presenta daños fisiológicos para conductividades eléctricas superiores a 1,4 dSm⁻¹. La tolerancia a la salinidad de los cítricos vendrá determinada principalmente por el patrón y, en particular, en su capacidad para excluir el ión cloruro. En este ensayo se analiza el efecto atenuante de la fertilización nitrogenada en los daños ocasionados por la salinidad en cítricos.

En España, la escasez de recursos hídricos superficiales ha originado una sobreexplotación de los recursos hídricos de origen subterráneo en amplias zonas de Almería, Murcia y la Comunidad Valenciana. Esto ha ocasionado un descenso excesivo en los niveles de los acuíferos, que se ve hidrostáticamente compensado por la intrusión marina, con la creciente salinización de las aguas de riego (Navarro-Acosta, 1998). Los cítricos son un cultivo sensible a la salinidad (Mass y Hoffman, 1977), que presentan daños fisiológicos para conductividades eléctricas superiores a 1,4 dSm⁻¹, disminuyendo la producción un 13% aproximadamente por cada 1,0 dSm⁻¹ que incrementa la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (Mass, 1993). La absorción de cloruro y sodio, principales iones inductores del estrés salino, puede provocar en los cítricos importantes alteraciones fisiológicas, tales como: reducción del crecimiento y de la producción, necrosis en hojas y brotes y defoliación (Cooper y Shull, 1953; Kirkpatrick y Bitters, 1969; Walker et al., 1982; Behboudian et al., 1986; Syvertsen y Yelenosky, 1988).

Actualmente se considera que la sensibilidad a la salinidad de los cítricos se encuentra asociada más a la acumulación de cloruro en las hojas que de sodio (Romero-Aranda et al., 1998). Así, la capacidad de los cítricos para tolerar la salinidad se encuentra íntimamente relacionada con la habilidad para regular la absorción de cloruro y restringir su transporte hacia la parte aérea (Cerdá et al., 1979; Mobayen y Milthorpe, 1980; Zekri y Parsons, 1992). Dado que el patrón controla en gran medida la absorción y/o transporte de las sales al injerto, la tolerancia a la salinidad de los cítricos vendrá determinada principalmente por el



patrón, y su capacidad para excluir el ión cloruro (Cooper et al., 1952; Walker et al., 1983; Levy et al., 1992; Bañuls et al., 1997).

Estudios previos destacan el papel de los fertilizantes nitrogenados en la reducción de los efectos negativos de la salinidad en los cítricos (Bielorai et al., 1988; Romero-Aranda y Syvertsen, 1996; Bar et al., 1997; Cerezo et al., 1999; Iglesias et al., 2004), por este motivo, en este ensayo se analiza el efecto atenuante de la fertilización nitrogenada en los daños ocasionados por la salinidad en cítricos.

Material y métodos

El ensayo se llevó a cabo en cítricos de dos años de edad de la variedad Clementina de Nules (*C. Clementina* Hort. Ex Tan) injertados sobre citrange Carrizo (*Citrus sinensis* x *Poncirus trifoliata*), patrón sensible a la salinidad, y mandarino Cleopatra (*C. Clementina* Hort. Ex Tan), patrón resistente a la salinidad. Las plantas se cultivaron al aire libre en contenedores tronco-cónicos de 17 litros de capacidad con un suelo franco-arcillo-arenoso. La conductividad eléctrica del agua de riego fue de 1,32 mScm⁻¹ con un contenido bajo en cloruros (3,7 mM) y sodio (2,6 mM), que de acuerdo a Legaz et al. (1995) se corresponde con un bajo riesgo de salinización, y un moderado contenido en nitrato (2,0 mM).

Los factores estudiados, patrón (mandarino Cleopatra y citrange Carrizo), concentración de nitrógeno (3 mM y 6 mM N) y de cloruro sódico (20 y 40 mM), originaron doce tratamientos que se distribuyeron

Estudios previos destacan el papel de los fertilizantes nitrogenados en la reducción de los efectos negativos de la salinidad en los cítricos. Por este motivo, en este ensayo se analiza el efecto atenuante de la fertilización nitrogenada en los daños ocasionados por la salinidad en cítricos.

al azar en el área experimental, con cuatro réplicas por tratamiento.

El ensayo se inició a principios de julio y las plantas se fertilizaron hasta noviembre con dos dosis de nitrógeno (3 mM y 6 mM). El N de ambos fertilizantes se marcó isotópicamente con ¹⁵N enriquecido al 5%. Ambos niveles de N se suplementaron con 2 mM de N en forma de nitrato procedente del agua de riego. También se aportaron dos dosis de cloruro sódico (20 y 40 mM), que se vieron incrementadas por el cloruro del agua, alcanzándose tres concentraciones de cloruro (3, 7, 23, 7 y 43, 7 mM). Estas dosis de N y Cl, así como, del resto de elementos nutritivos, se aplicaron a través de riego localizado a goteo.

Al final del ensayo (noviembre) las plantas se extrajeron del suelo, se fraccionaron y se tomaron muestras de los distintos órganos. El análisis del contenido en cloruros se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Gilliam (1971), empleando un clorímetro automático (Corning-926). El contenido en N total así como la relación isotópica ¹⁴N/¹⁵N se evaluó mediante un analizador elemental acoplado a un espectrómetro de masas (NC 2500, Delta plus, Thermo Quest).

Resultados y discusión

Biomasa

La biomasa del sistema radical y del árbol completo alcanzó un desarrollo significativamente mayor en los árboles injertados sobre Cleopatra que en los cultivados sobre Carrizo (**cuadro I y figura 1**).

Las dosis crecientes de NaCl redujeron de forma significativa el peso seco de todas las fracciones. Por otro lado, la biomasa de los órganos viejos y de las raíces de los árboles fertilizados con la dosis superior de N aumentó de forma significativa. Además, el comportamiento de ambos patrones fue igual para dosis diferentes de Cl⁻ y N, ya que no se obtuvieron interacciones significativas en ninguna de las fracciones analizadas.

El peso seco de los árboles injertados sobre Carrizo experimentó una reducción significativa del 32%, en promedio, para la dosis intermedia de Cl⁻ con respecto al control, mientras que en los desarrollados sobre Cleopatra la biomasa se redujo en un 17% (**cuadro I**). En cambio, para el mayor nivel de salinización, la disminución en materia seca fue similar para ambos patrones. Este comportamiento diferencial de los patrones de cítricos frente al estrés salino ha sido ampliamente estudiado por otros autores (García-Legaz *et al.*, 1993; Lea-Cox y Syvertsen, 1993; El-Hag *et al.*, 1997; Nastou *et al.*, 1999) que han verificado que la salinidad reduce el peso seco total de la planta, así como el crecimiento de nuevos brotes en patrones sensibles, mientras que los tolerantes apenas se ven afectados. En el presente ensayo los órganos jóvenes de las plantas sobre el patrón sensible alcanzaron pesos significativamente inferiores con la dosis superior de cloruro y la inferior de N.

La dosis alta de N (8 mM) atenuó la reducción de la biomasa como consecuencia del cloruro sódico, siendo el peso seco de los árboles tratados con N₂ significativamente superior a los de N₁ (**cuadro I**). Esta

Cuadro I.

Efecto de las dosis de cloruro y de nitrógeno sobre la biomasa, la concentración de cloruro y la eficiencia de N absorbido del fertilizante en árboles de clementina de Nules injertadas sobre los patrones (P) mandarino Cleopatra (mCl) y citrange Carrizo (cC)^z.

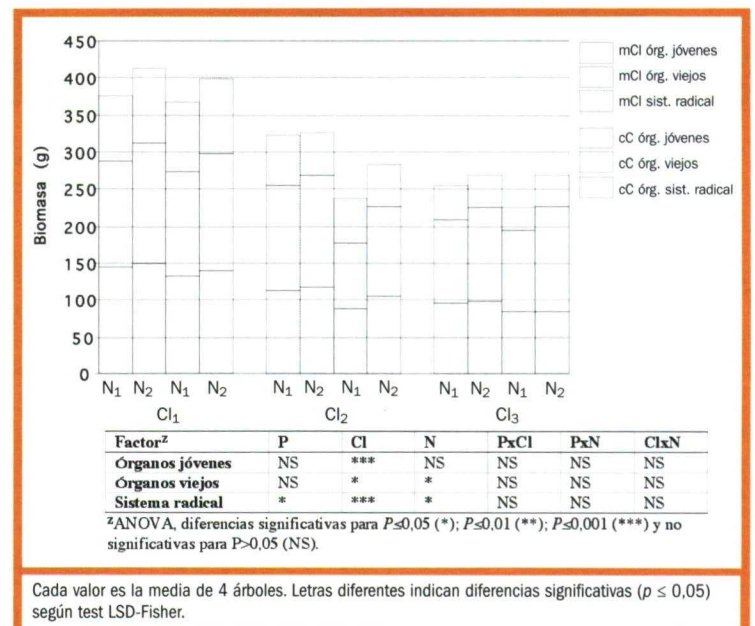
P	Cl ⁻ (mM)	N (mM)	Biomasa (g)	Cl ⁻ (%)	Eficiencia N (%)
mCl	3,7	5	375,46ab	0,27e	69,17h
		8	412,49a	0,24e	38,40de
cC	3,7	5	365,77ab	0,41d	69,28h
		8	399,59a	0,39d	45,32ef
mCl	23,7	5	322,73bc	0,45d	53,91g
		8	326,19bc	0,43d	35,98cd
cC	23,7	5	237,85d	1,31a	48,19fg
		8	237,85d	0,89b	29,03abc
mCl	43,7	5	258,24cd	0,56c	36,91cd
		8	270,40cd	0,55c	26,07ab
cC	43,7	5	226,43d	0,97b	30,21bc
		8	268,97cd	0,95b	21,78a
		P ^y	*	***	NS
		Cl	***	***	***
		N	*	**	***
		PxCl	NS	***	*
		PxN	NS	*	NS
		ClxN	NS	**	NS

^z Cada valor es la media de 4 repeticiones.

^y ANOVA, diferencias significativas para P ≤ 0,05 (*); P ≤ 0,01 (**); P ≤ 0,001 (***) y no significativas P > 0,05 (NS). Letras iguales en una misma columna indican tratamientos no significativamente diferentes (P > 0,05) según test LSD-Fisher.

Figura 1.

Efecto de las dosis de cloruro y de nitrógeno sobre la biomasa de distintas fracciones de clementino de Nules injertado sobre los patrones (P) mandarino Cleopatra (mCl) y citrange Carrizo (cC).



diferencia se debió, básicamente, al incremento en la biomasa de los órganos viejos con el mayor aporte de N (**figura 1**). El efecto beneficioso de los compuestos nitrogenados frente al estrés salino apenas ha sido estudiado en cítricos. Bar *et al.* (1997) estudiaron el efecto de la concentración del ión nitrato sobre el crecimiento y composición mineral de los patrones mandarino Cleopatra y citrange Troyer sometidos a estrés salino. La disminución en el crecimiento de las ramas se vio parcialmente contrarrestada en condiciones de salinidad media y alta por

La dosis alta de N provocó una menor acumulación de cloruro en el árbol completo. Del análisis de la interacción patrón y cloruro se deduce el diferente comportamiento de ambos patrones frente a la salinidad, ya que en las plantas sobre Cleopatra, la concentración de cloruro aumentó significativamente de forma lineal, mientras que el Carrizo se salinizó de forma muy marcada con la dosis media de cloruro, no siendo capaz de absorber más en condiciones extremas de salinidad



las dosis baja y media de nitrato para el citrange Troyer, mientras que en mandarina Cleopatra estas dosis tuvieron un efecto similar únicamente para la dosis media de NaCl.

Acumulación de cloruro

Las plantas injertadas sobre el patrón más tolerante, mandarina Cleopatra, acumularon menos cloruro que las injertadas sobre el patrón sensible citrange Carrizo, en todas las fracciones estudiadas. Estos datos confirman la gran influencia que tiene el patrón sobre la acumulación de cloruro en las plantas injertadas. La adición de NaCl a la solución nutritiva provocó un aumento progresivo en la concentración de cloruro en el total de la planta, en ambos patrones y para las dos dosis de nitrógeno (cuadro I). La ausencia de drenaje durante la experiencia causó una concentración de cloruro en los controles superior a la esperada para el contenido en este ión del agua de riego.

La dosis alta de N provocó una menor acumulación de cloruro en el árbol completo (cuadro I). Del análisis de la interacción patrón y cloruro se deduce el diferente comportamiento de ambos patrones frente a la salinidad, ya que en las plantas sobre Cleopatra, la concentración de cloruro aumentó significativamente de forma lineal, mientras que el Carrizo se salinizó de forma muy marcada con la dosis media de cloruro, no siendo capaz de absorber más en condiciones extremas de salinidad. En esta situación de salinidad intermedia, se observó un decremento notable del cloruro acumulado para la dosis alta de N. De la interacción patrón y nitrato se deduce que, en los árboles injertados sobre citrange Carrizo, la dosis de N redujo significativamente la concen-

tración de ión cloruro, mientras que no influyó de forma significativa en los árboles sobre Cleopatra. En la interacción cloruro y nitrógeno indica que la dosis alta de N redujo la concentración de Cl⁻ de forma significativa para el nivel medio de salinidad, mientras que en los otros tratamientos salinos decreció ligeramente.

Las mayores concentraciones de cloruro en los diferentes órganos se alcanzaron en las plantas sobre Carrizo (figura 2). En la raíz fibrosa (datos no presentados) de los árboles sobre Cleopatra el cloruro absorbido se acumuló de forma constante frente al aumento de concentración de NaCl en la solución nutritiva. Mientras que en los árboles sobre Carrizo el cloruro se concentró de forma progresiva al incrementar la dosis de cloruro. Los resultados expuestos confirman que el mandarina Cleopatra es uno de los patrones más efectivos en la restricción del transporte de cloruro hacia la parte aérea de la variedad injertada (Cooper et al., 1952; Walker et al., 1983; Zekri y Parsons, 1992), y es esta exclusión del ión cloruro lo que le confiere una mayor tolerancia a la salinidad. Este hecho, según algunos autores (Walker y Douglas 1983, Behboudian et al. 1986, García-Sánchez et al. 2002), se debe a la existencia de un límite de concentración máxima de Cl⁻ en las raíces de los cítricos. Superado dicho límite, las raíces pierden la capacidad

Cuadro II.

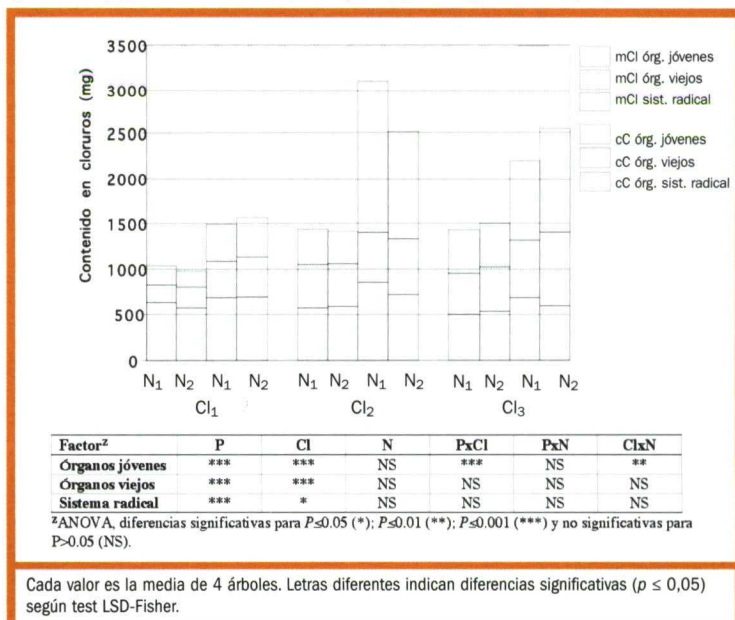
Efecto de la dosis de nitrógeno sobre la variación de la eficiencia en la absorción en las diferentes condiciones de salinidad, en árboles de clementina de Nules injertados sobre los patrones (P) mandarina Cleopatra (mCl) y citrange Carrizo (cC).

P	N	Cl ⁻	Órganos jóvenes	Órganos viejos	Sistema radical
mCl	N ₁	Cl ₁ vs. Cl ₂	29,6	-7,4	25,7
	N ₂	Cl ₁ vs. Cl ₂	26,2	-43,8	5,8
cC	N ₁	Cl ₁ vs. Cl ₂	39,7	13,1	24,9
	N ₂	Cl ₁ vs. Cl ₂	46,6	18,9	29,1
mCl	N ₁	Cl ₂ vs. Cl ₃	23,3	38,2	20,9
	N ₂	Cl ₂ vs. Cl ₃	20,1	44,5	23,5
cC	N ₁	Cl ₂ vs. Cl ₃	28,7	-1,1	34,0
	N ₂	Cl ₂ vs. Cl ₃	17,6	-2,5	23,1

^z Cada valor es la media de 4 repeticiones.

Figura 2.

Efecto de las dosis de cloruro y de nitrógeno sobre el contenido del ión cloruro de distintas fracciones de clementino de Nules injertado sobre los patrones (P), mandarina Cleopatra (mCl) y citrange Carrizo (cC).



de regular la absorción y/o transporte de Cl^- y Na^+ . Así, Cámara-Zapata *et al.* (2004) observaron una disminución en la concentración de cloruro en las raíces del Cleopatra y naranjo Amargo, al aplicar un tratamiento salino con NaCl 50 mM durante 90 días, que atribuyeron a la superación del límite máximo de cloruro en las raíces de estos patrones.

En Carrizo, el incremento en la dosis de N provocó una acumulación significativamente menor de cloruro en los órganos jóvenes, en los viejos y en el sistema radical para Cl_2 . En cambio, para la dosis alta (Cl_3) no se obtuvieron diferencias significativas en la concentración de cloruro en la parte aérea, mientras que se observó un efecto antagónico ($\text{Cl}^-:\text{NO}_3^-$) significativo en el sistema radical. En condiciones no salinas no se observaron diferencias entre ambas dosis de nitrógeno.

En el ensayo realizado por Bar *et al.* (1997) el cloruro acumulado en las hojas del citrange Troyer, para todas las concentraciones de NaCl estudiadas, disminuyó de forma significativa al incrementar la dosis de nitrato. Estos autores recomiendan que ambos iones deberían mantenerse en una relación 1:2 ($\text{Cl}^-:\text{NO}_3^-$) en la solución del suelo con el fin de reducir la absorción de cloruro y evitar los efectos negativos de un exceso de fertilización nitrogenada.

Eficiencia del N aplicado del fertilizante

La eficiencia de uso de los fertilizantes se define como la cantidad de nitrógeno absorbido por la planta en relación a la dosis de N aplicada, es por lo tanto un término relativo a la cantidad de N aportada. En este sentido, el N afectó de manera significativa a la eficiencia de absorción de todos los órganos analizados ya que los árboles del tratamiento N_2 recibieron una dosis mayor.

En cuanto al patrón analizado, existe una diferencia de comportamiento según el grado de salinización del medio. En condiciones no salinas, el Carrizo mostró una eficiencia de absorción de N similar o incluso mayor que el Cleopatra; en cambio esta pauta se invirtió cuando las plantas se salinizaron (**cuadro I**).

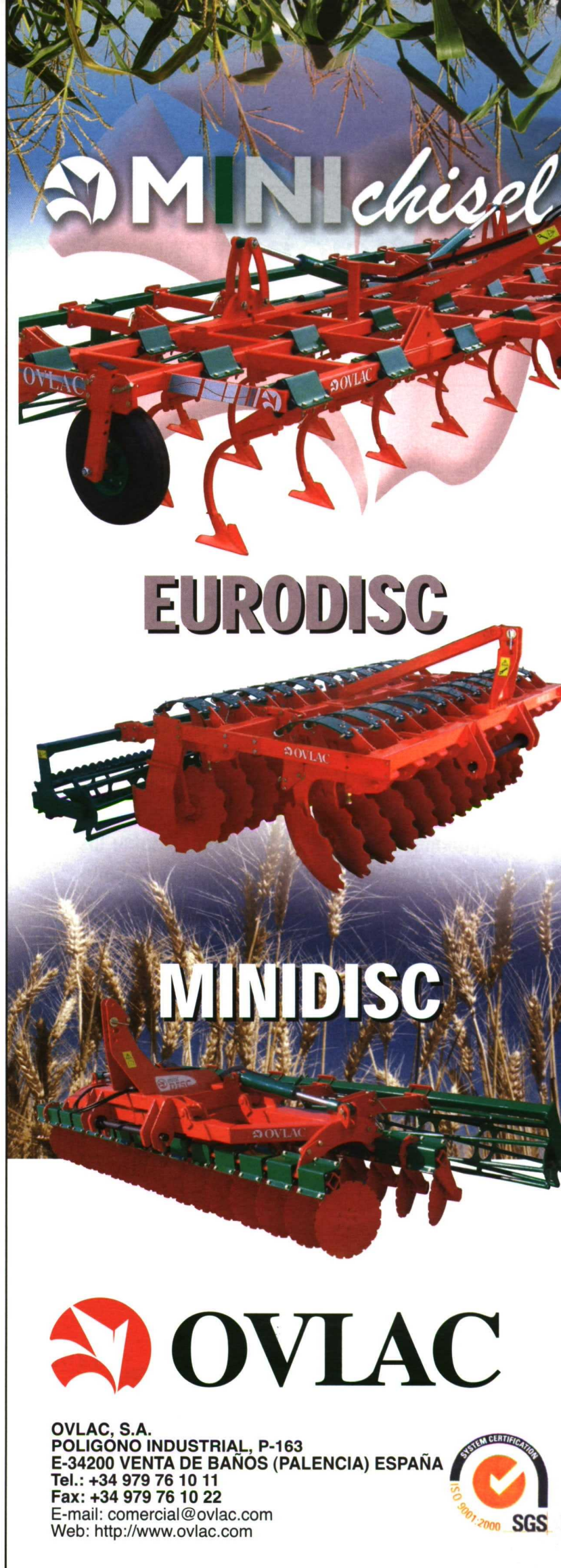
En cuanto al efecto del N aportado sobre la reducción de la eficiencia de absorción de N en diferentes condiciones de salinidad, éste depende en gran medida del patrón estudiado (**cuadro II**). En los árboles injertados sobre mandarina Cleopatra, el aporte extra de N (N_2) ocasiona una menor reducción en la eficiencia tanto en los órganos jóvenes como en el sistema radical de los árboles en condiciones de salinidad intermedia en relación a situaciones no salinas. Sin embargo, en condiciones de salinidad extrema comparada con intermedia, el aporte de N no se traduce en un incremento en la absorción de N en el sistema radical de la planta. Por el contrario, en plantas injertadas sobre citrange Carrizo, el mayor aporte de N ocasiona una menor reducción de la eficiencia de absorción de N en todos los órganos muestreados al compararla en situación de salinidad intermedia frente a extrema (Cl_2 vs. Cl_3).

Conclusiones

La información obtenida en el presente estudio sugiere que un aumento moderado de las dosis convencionales de fertilización nitrogenada, que ocasionen el menor impacto ambiental posible, origina un aumento en la biomasa, una menor absorción de cloruro por las plantas y una mayor absorción del N aplicado, injertadas, sobre todo, en patrones sensibles, cuando se utilizan aguas de riego con riesgo de salinidad. ■

Bibliografía

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores, que pueden solicitar en el e-mail: redaccion@eumedia.es



OVLAC

OVLAC, S.A.

POLIGONO INDUSTRIAL, P-163

E-34200 VENTA DE BAÑOS (PALENCIA) ESPAÑA

Tel.: +34 979 76 10 11

Fax: +34 979 76 10 22

E-mail: comercial@ovlac.com

Web: <http://www.ovlac.com>

