

Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg

L. Rincón Sánchez *, A. Pérez Crespo, C. Pellicer Botía,
J. Sáez Sironi, A. Abadía Sánchez

Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (CIDA). Estación Sericícola.
C/ Mayor s/n. 30150 La Alberca (Murcia).

luisf.rincon@carm.es

RESUMEN

Se estudió la respuesta productiva de un cultivo de lechuga iceberg y la concentración de nitratos en planta para dosis de nitrógeno de 25, 50, 100, 150 y 200 kg.ha⁻¹ aplicados en fertirrigación. El rendimiento del cultivo aumentó con la dosis de N aplicada hasta los 100 kg.ha⁻¹, consiguiéndose 53,4 t.ha⁻¹ de biomasa fresca y 33,1 t.ha⁻¹ de frutos comerciales. Para 150 y 200 kg.ha⁻¹ de N aplicado, la biomasa producida disminuyó, así como el índice de cosecha. La concentración de NO₃⁻ en la disolución del suelo (extracto suelo-agua 1:2) se elevó cuando se aportaron 150 y 200 kg de N/ha y disminuyó con 25 y 50 kg de N/ha. Con 100 kg de N/ha, la concentración de NO₃⁻ se mantuvo prácticamente uniforme durante el ciclo de cultivo, equilibrándose la disponibilidad de NO₃⁻ con la absorción por la planta. La absorción de N por la planta se incrementó significativamente entre los tratamientos donde se aportaron 25 y 50 kg de N/ha y los que recibieron 100, 150 y 200 kg de N/ha, sin que entre los de mayor aportación se produjeran diferencias significativas. Las hojas exteriores de la planta presentaron concentraciones de nitratos tres veces superiores a las concentraciones de las hojas interiores, variando la concentración en cada fracción vegetal con la cantidad de N aportado. En la recolección, las distintas cantidades de N aportadas produjeron concentraciones de NO₃⁻ distintas en hoja, variando entre 1.635 y 4.494 ppm en hojas exteriores y de 651 a 1.508 en hojas interiores.

Palabras clave: *Lactuca sativa* L. var. capitata, crecimiento vegetativo, suelo, extracción de nitrógeno, riego por goteo.

INTRODUCCIÓN

La influencia de la cantidad de N aportado al suelo en el rendimiento y acumulación de nitrato (NO₃⁻) en planta de lechuga iceberg ha sido ampliamente estudiada con resulta-

* Autor para correspondencia

Recibido: 19-10-01

Aceptado para su publicación: 15-2-02

dos diversos, debido fundamentalmente a la directa relación entre la cantidad de N disponible para la planta (Delbert *et al.*, 1982) y el manejo del agua en distintos sistemas de riego (Cantliffe *et al.*, 1998; Hochmuth *et al.*, 1994; Leenhardt *et al.*, 1998 b; McPharlin *et al.*, 1995; Thompson y Doerge, 1996). Otros factores que influyen en la asimilación y acumulación de nitratos en la planta son: cantidad de N aportado en la fertilización (Economakis *et al.*, 1997; Martinetti, 1996), intensidad luminosa (Steingrower *et al.*, 1993), variedad genética (Blom-Zandstra y Eenink, 1986), relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (Van der Boon *et al.*, 1990) y temperatura (Behr y Wiebe 1992).

Algunas especies de plantas hortícolas de aprovechamiento foliar (espinaca, acelga, lechuga, etc.) tienden a acumular nitratos en las hojas cuando la absorción excede a la reducción dentro de la planta (Hewitt, 1975). La función específica de los nitratos en los vegetales es la de suministrar nitrógeno para la síntesis de proteínas, una vez reducido por acción de la enzima nitrato reductasa. A diferencia de lo que ocurre con otros compuestos de nitrógeno (nitritos y amonio), los nitratos se acumulan en las vacuolas de los tejidos vegetales, donde tienen una función no específica, supliendo a ácidos orgánicos y azúcares, actuando como reguladores osmóticos cuando la fotosíntesis es muy baja (Behr y Wiebe 1992, Blom-Zandstra y Lampe 1983; Mott y Steward 1972). Las consecuencias de esta acumulación no están muy estudiadas y definidas, pero sí es suficientemente conocida su toxicidad en el organismo humano (Craddock, 1983).

Numerosos trabajos coinciden en que la intensidad luminosa es el factor que influye de forma más significativa en la acumulación de nitratos en planta de lechuga, de forma que a mayor luminosidad la acumulación de nitratos disminuye independientemente de la fertilización nitrogenada llevada a cabo (Merino y Ansorena, 1993; Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985).

El objetivo de este trabajo fue el de conocer la influencia de la fertilización nitrogenada y de la acumulación de nitrato en planta de lechuga iceberg en ciclos de cultivo de invierno bajo las condiciones climatológicas imperantes en la región de Murcia.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental «Torreblanca», del Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, situada en la comarca del Campo de Cartagena (37° 40' N-0° 58' W), en Murcia, zona característica del cultivo de la lechuga.

Las características del suelo de cultivo a la profundidad de 40 cm fueron: textura franco-arcillosa; conductividad eléctrica (25 °C) en el extracto de saturación, 3,86 dS/m; carbonatos totales, 32,8 %; materia orgánica, 1,26 %; capacidad de intercambio catiónico, 19,75; meq/100 g de suelo; K (Ac-NH₄), 237 ppm; P (Olsen), 77 ppm.

El agua de riego utilizada, procedente del Trasvase Tajo-Segura, presentaba una conductividad eléctrica (25 °C) de 1,02 dS/m, y un contenido de aniones y cationes sin limitaciones para el desarrollo de las plantas.

Las plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. capitata) cv. Coolguard se obtuvieron en semillero aparte y se trasplantaron a la parcela de ensayo el 10 de noviembre de 1995 con una densidad de plantación de 6,7 plantas/m², en un diseño experimental de bloques aleatorios con cuatro repeticiones, situándose los bloques dentro de parcelas de cultivo de 750 m². Cada parcela elemental se compuso de tres líneas de 11 m de longitud, separadas

entre sí un metro, actuando las dos laterales como guardas de separación entre tratamientos colindantes.

En el sistema de riego por goteo, se utilizaron goteros de 2 l/h, situados en la línea de riego a 60 cm de distancia, correspondiendo a cada gotero cuatro plantas. El riego se realizó manteniendo un potencial mátrico de -20 kPa, medido en tensiómetros situados a 20 cm de profundidad y 15 cm de distancia del tronco de la planta.

Los tratamientos consistieron en el aporte de cinco cantidades diferenciales de nitrógeno de 25, 50, 100, 150 y 200 kg/ha, respectivamente. El resto de elementos fertilizantes se aportaron en igual cantidad en todos los tratamientos, en las cantidades siguientes (en kg/ha): 100 de P_2O_5 , 250 de K_2O , 45 de Ca y 15 de Mg. La distribución de los fertilizantes se realizó mediante la técnica de fertirrigación, teniendo en cuenta la absorción periódica de nutrientes de la lechuga iceberg (Rincón *et al.*, 1991). Las sales fertilizantes utilizadas fueron nitrato amónico, nitrato cálcico, fosfato monoamónico, sulfato de potasio y sulfato de magnesio.

Las plantas se muestrearon inicialmente en el trasplante, a continuación a los 30 días y posteriormente cada 15 días hasta alcanzar 109 días después del trasplante. Las plantas se fraccionaron en hojas externas, internas y troncos, que se lavaron y secaron en estufa de aire forzado a 70 °C hasta peso constante. En estas fracciones se determinaron la materia seca total y el contenido de N total. En hojas también se determinó el contenido de NO_3^- , refiriendo los resultados a materia verde.

El suelo se muestreó semanalmente a partir de los 30 días de la plantación hasta los 93 días. Las muestras en cada tratamiento y repetición fueron tomadas en el horizonte antrópico a 20 cm de profundidad y 20 cm de distancia del gotero en dirección perpendicular a la línea portagoteros, analizándose los nitratos en un extracto suelo-agua 1:2 (Sonneveld y Van Den Ende, 1971).

La determinación de los nitratos se realizó mediante la técnica del ión selectivo con potenciómetro de 0,1 mV de precisión, electrodo de referencia Ingold (Ref: 10-373-3145) y electrodo específico de nitratos Ingold (Ref: 15-222-3000).

Al final del cultivo se analizaron los parámetros de producción siguientes: producción total (Pt), deshojado más plantas no comerciales), producción comercial (Pc), número de frutos comerciales (Nfc), peso de fruto comercial (Pfc) e índice de cultivo (Ic).

RESULTADOS

Evolución del contenido de nitratos en el suelo

La Figura 1 muestra la evolución de los NO_3^- en el extracto suelo-agua 1:2 para los diferentes tratamientos de nitrógeno. Las concentraciones de NO_3^- estuvieron en relación con las cantidades de N aplicadas. La mayor concentración se produjo cuando se aplicaron 200 kg de N/ha, elevándose desde 71,2 ppm a los 30 días después del trasplante hasta 187,2 ppm a los 93 días. En el tratamiento donde se aplicaron 150 kg/ha, el contenido de NO_3^- se incrementó desde las 69 ppm hasta las 98 ppm. Con 100 kg de N/ha aplicados, el incremento varió entre las 53 ppm hasta las 64 ppm. Donde se añadieron 50 kg de N/ha, la concentración disminuyó entre 20 ppm y 17 ppm en la recolección y con 25 kg de N/ha la concentración bajó de 17 ppm hasta las 6,4 ppm en la recolección.

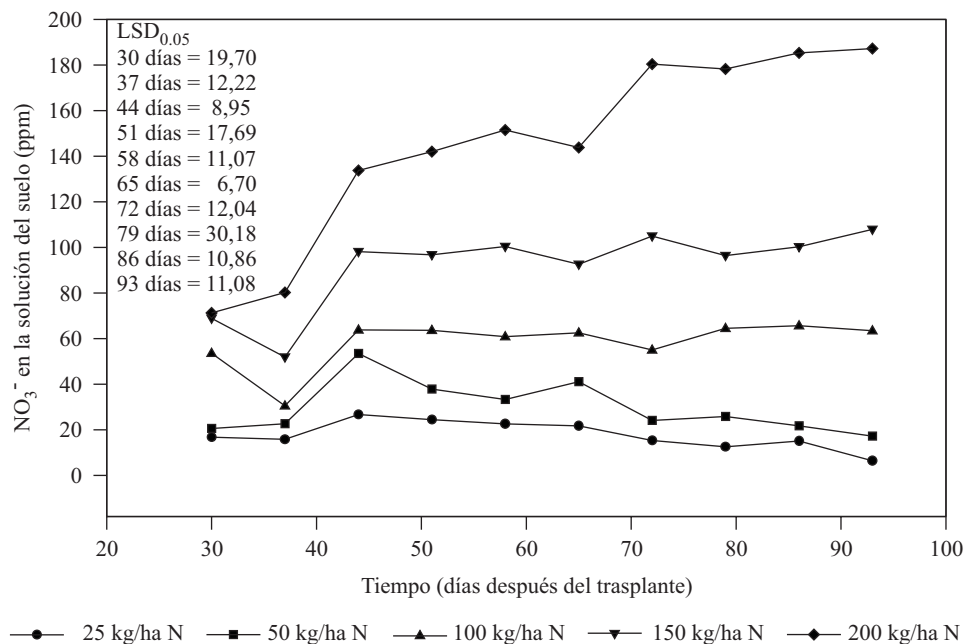


Fig. 1.—Evolución del contenido de nitratos en el suelo según cantidad de nitrógeno aportado

Producción del cultivo

Los parámetros de producción del cultivo se muestran en la Tabla 1. Las distintas cantidades de nitrógeno aplicadas al cultivo produjeron diferencias significativas en todos los parámetros de producción. Las producciones de biomasa Pt y Pc aumentaron con la cantidad de N aportado hasta los 100 kg de N/ha, oscilando entre las 32,5 t/ha en el tratamiento de 25 kg de N/ha aportado y las 53,4 t/ha cuando se aplicaron 100 kg de N/ha. Los tratamientos que recibieron 150 y 200 kg/ha de N redujeron la producción de biomasa respecto al tratamiento que recibió 100 kg de N/ha.

El destrío también resultó influenciado por las cantidades de N aportadas, produciéndose las mayores cantidades en los tratamientos en los que se aportó mayor cantidad de N, alcanzando sobre la Pt el 42,9 % en el tratamiento de 150 kg de N/ha y el 47,2 % en el de 200 kg de N/ha, disminuyendo significativamente en los tratamientos en los que las plantas recibieron 25, 50 y 100 kg de N/ha, respectivamente, en los que no se superó el 38 % de la Pt.

La mayor Pc se obtuvo en el tratamiento en el que se aportaron 100 kg/ha, consiguiéndose 33,1 t/ha de cogollos comerciales, valor superior al alcanzado cuando se aportaron 150 y 200 kg de N/ha. En cada uno de los tratamientos en los que se aplicaron 25 y 50 kg de N/ha, el peso total de cogollos comerciales fue significativamente inferior al ser

Tabla 1
Producción total (Pt) y comercial (Pc) obtenida para un cultivo de lechuga iceberg según cantidad de nitrógeno aportada

| Tratamientos kg/ha | Pt (t/ha) | Destrío (%) | Pc (t/ha) | Nfc/ha (x 10 ³) | Pfc (g) | I _c (%) |
|-----------------------|--------------|----------------|--------------|--------------------------------|------------|-----------------------|
| 25 | 32,5 | 34,5 | 21,3 | 59,6 | 360 | 66 |
| 50 | 39,8 | 35,9 | 25,5 | 59,9 | 420 | 64 |
| 100 | 53,4 | 38,0 | 33,1 | 60,8 | 540 | 62 |
| 150 | 51,7 | 42,9 | 29,5 | 51,5 | 570 | 57 |
| 200 | 52,3 | 47,2 | 27,6 | 41,7 | 660 | 53 |
| LSD _{0,05} | 7,9 | 2,8 | 5,0 | 4,2 | 59,7 | 7,8 |

menor el peso unitario de los mismos. El Nfc fue mayor en los tratamientos donde se aplicaron 25, 50 y 100 kg de N/ha, respectivamente, disminuyendo significativamente en cada uno de los tratamientos de 150 y 200 kg de N/ha aplicados. El Pfc aumentó con la cantidad de N aplicado, variando entre los 360 g cuando se aplicaron 25 kg de N/ha y 660 g en las plantas que recibieron 200 kg de N/ha. El I_c se redujo con la mayor cantidad de N aplicado, consiguiéndose los mayores índices de cosecha en los tratamientos de 25, 50 y 100 kg de N/ha aplicados, disminuyendo significativamente en los tratamientos que recibieron 200 y 150 kg/ha.

Las cantidades de N aplicados en los distintos tratamientos y las Pt y Pc de biomasa fresca se ajustaron a ecuaciones de tipo polinómico de segundo grado $P_i = a N^2 + b N + c$ (Fig. 2), donde P_i es la producción de biomasa en t/ha y N la cantidad de nitrógeno aportado en kg/ha, presentando ambas relaciones una elevada correlación ($r^2 > 0,8900$).

Evolución de la biomasa acumulada durante el ciclo de cultivo

La Figura 3 muestra la evolución de la materia seca total de los órganos aéreos de la planta durante el ciclo de cultivo para cada uno de los tratamientos ensayados. Durante la fase de roseta, las plantas tuvieron un crecimiento lento, no produciéndose diferencias entre la materia seca acumulada para las cantidades de N aportado en los distintos tratamientos. Es a partir del inicio del acogollado (45-60 días después del trasplante) cuando comenzó a diferenciarse la producción de materia seca según cantidad de N aportado. Al final del cultivo, la mayor producción de materia seca se encontró en los tratamientos en los que se adicionaron 100, 150 y 200 kg de N/ha, sin que entre éstos se encontraran diferencias apreciables. Los tratamientos que recibieron 25 y 50 kg de N/ha fueron estadísticamente los menos productivos.

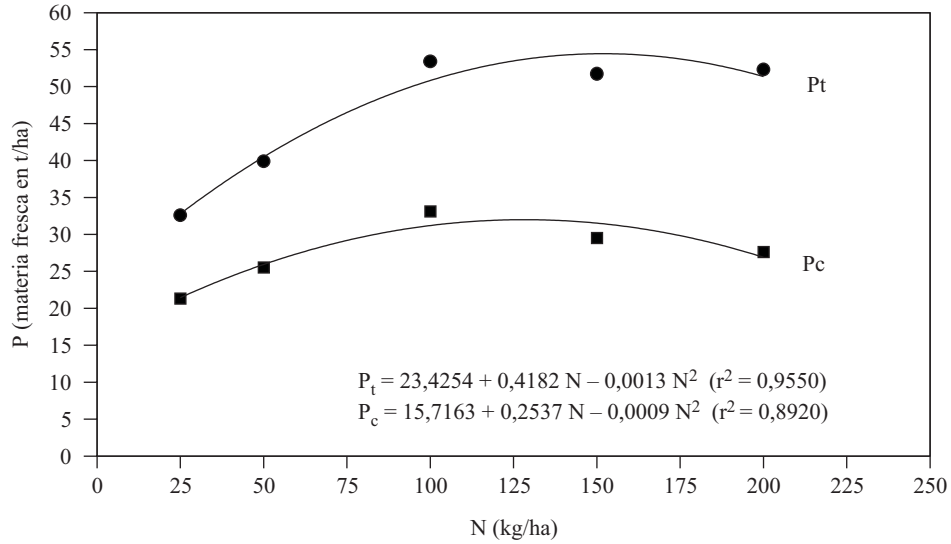


Fig. 2.—Producción de biomasa según cantidad de N aportado

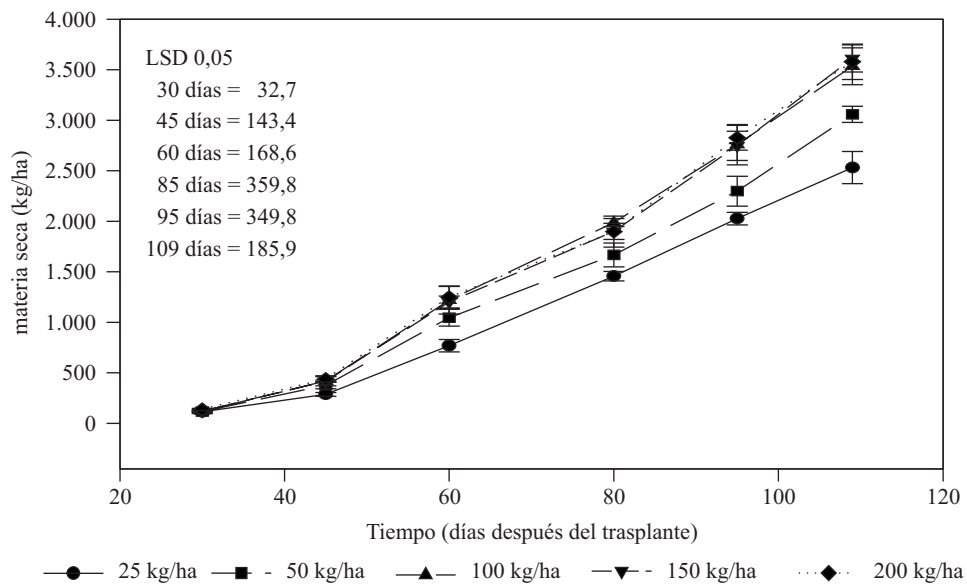


Fig. 3.—Evolución de la materia seca acumulada en función de la cantidad de N aportado

Concentración y absorción de nitrógeno por la planta

La Figura 4 muestra la concentración de N en la materia seca de los diferentes órganos vegetativos de la lechuga iceberg para cada uno de los niveles de N aportados. En to-

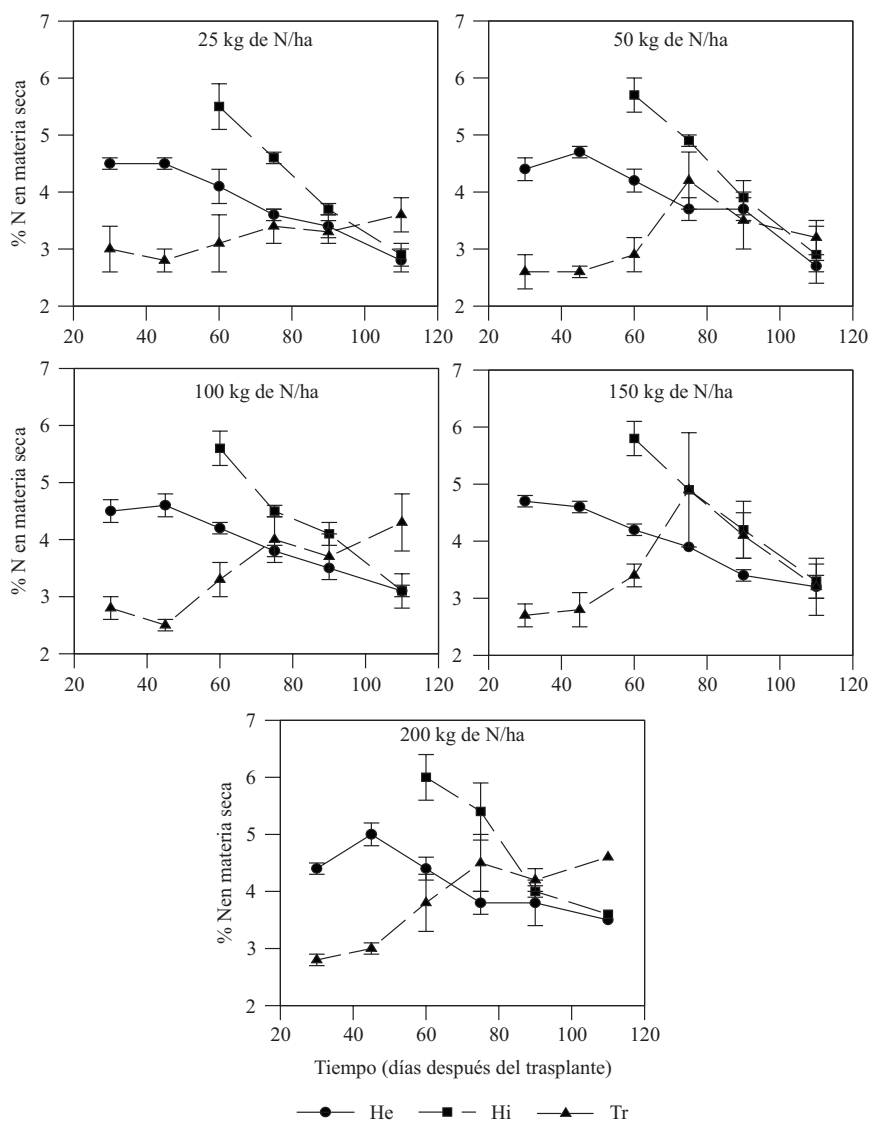


Fig. 4.—Contenido de N en hojas exteriores (He), hojas interiores (Hi) y troncos (Tr) de lechuga iceberg según dosis de N aportadas

dos los tratamientos la evolución del contenido de N presentó una tendencia similar para cada órgano vegetativo.

En hojas exteriores, el contenido de N disminuyó durante todo el ciclo de cultivo, siendo más acusado en los tratamientos en los que las plantas recibieron 25 y 50 kg de N/ha, no presentando diferencias apreciables en los tratamientos donde se aportaron 100, 150 y 200 kg de N/ha, respectivamente. En hojas interiores, la concentración de N descendió durante la fase de acogollado, con valores muy parecidos en todos los tratamientos.

La Figura 5 presenta la evolución de las cantidades de N absorbido por el cultivo con distintas cantidades de N aportadas en la fertilización. La absorción de N por el cultivo aumentó con la cantidad de N aportado, presentando los valores más elevados (129,9 kg de N/ha) las plantas que recibieron 200 kg/ha. En el tratamiento de mayor producción comercial (100 kg de N/ha), la cantidad de N absorbido fue de 116,5 kg/ha, elevándose a 120,1 kg/ha cuando se aplicaron 150 kg de N/ha. En los tratamientos donde se aportaron 25 y 50 kg de N/ha, las cantidades de N absorbidas por el cultivo se redujeron significativamente a 73,0 kg/ha y 90,5 kg/ha, respectivamente.

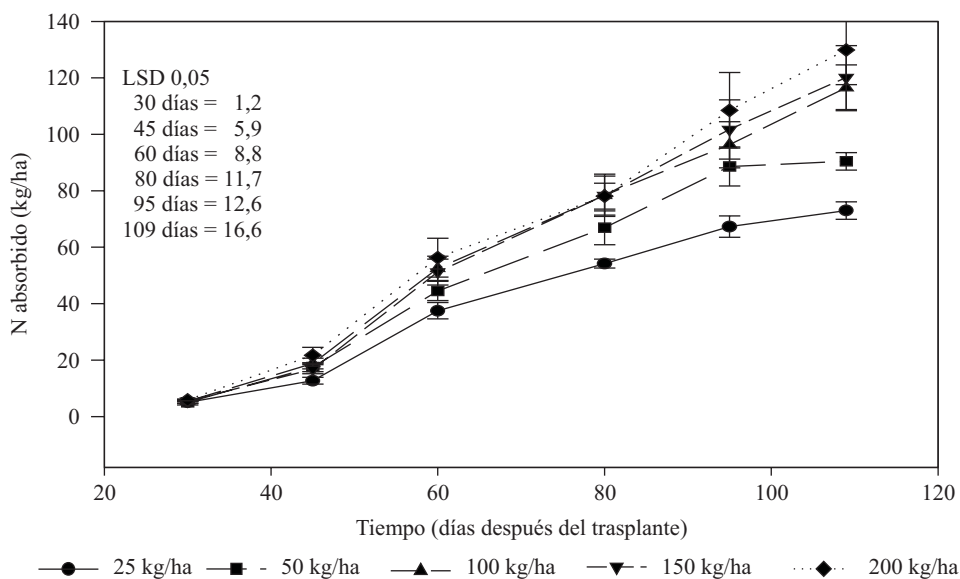


Fig. 5.—Absorción de nitrógeno según cantidad de N aportado al suelo

Contenido de nitratos en planta

La concentración de nitratos en hojas de lechuga iceberg se presenta en la Figura 6. Las hojas exteriores alcanzaron las concentraciones de NO_3^- más elevadas, triplicando al correspondiente de las hojas interiores (cogollo). Las cantidades de N aportadas influyeron en la acumulación de NO_3^- en hoja, aumentando con la cantidad de N aportado. En los tratamientos de 100, 150 y 200 kg de N/ha aplicados, la tendencia del contenido de NO_3^- con el tiempo fue creciente tanto en hojas exteriores como en hojas interiores. En los tratamientos de menor aportación de N, el contenido de NO_3^- aumentó hasta los 75 días después del trasplante en hojas exteriores y hasta los 95 días en las hojas interiores, disminuyendo posteriormente hasta la recolección.

En la recolección, las concentraciones de NO_3^- en materia fresca de las hojas exteriores fueron de 4.500 ppm en el tratamiento de 200 kg/ha, de 3.800 ppm en el de 150 kg/ha, de 3.200 ppm en el de 100 kg/ha e inferior a 2.000 ppm en los tratamientos de menor aportación de N (Fig. 6). En hojas interiores, las concentraciones fueron de 1.500, 1.250 y 1.050 ppm para los tratamientos en los que se aplicaron 200, 150 y 100 kg de N/ha, respectivamente, e inferiores a 850 ppm en los tratamientos que recibieron 25 y 50 kg de N/ha.

DISCUSIÓN

Concentración de nitratos en el suelo

Diversos autores han reflejado aumentos de la concentración de NO_3^- en la disolución del suelo durante las primeras etapas vegetativas de la lechuga iceberg cuando no se producen pérdidas altas por lixiviación (Jackson *et al.*, 1993; McPharlin *et al.*, 1995 y Titulaer y Slangen, 1989), corroborando McPharlin *et al.* (1995) que a partir de dicho incremento la concentración de NO_3^- en la disolución del suelo se mantiene constante si las cantidades de N aportadas equilibran la absorción del cultivo y las pérdidas de NO_3^- por lixiviación son bajas, y disminuyendo cuando las pérdidas de NO_3^- por lixiviación son altas. Los resultados de la presente experiencia son coincidentes con lo expuesto anteriormente, atribuyendo el aumento de la concentración de NO_3^- en la disolución del suelo al exceso de N aportado sobre el consumido por el cultivo, y el descenso al déficit de N respecto a las necesidades del cultivo. Cuando hubo equilibrio entre el N aportado y el consumido por el cultivo la concentración de NO_3^- en la solución del suelo se mantuvo constante en toda la fase de acogollado (Fig. 1).

La concentración de nitratos en la disolución del suelo es utilizada para controlar la fertilización nitrogenada en lechuga y otros cultivos de aprovechamiento foliar. Roorda Van Eysinga y Van der Meijs (1985) recomiendan para cultivos de lechuga bajo invernadero mantener la concentración de N en la disolución del suelo por encima de 1,0 M, siendo necesario fertilizar con N cuando dicha concentración disminuye y no fertilizar cuando la concentración es superior a 2,2 M. Sin embargo, dichos autores señalan la dificultad de ajustar las cantidades de N a aportar en plantaciones comerciales, debido a la variabilidad en la mineralización del N procedente de la materia orgánica del suelo en relación con el manejo del agua. En esta línea, Titulaer y Slangen (1989) recomiendan que

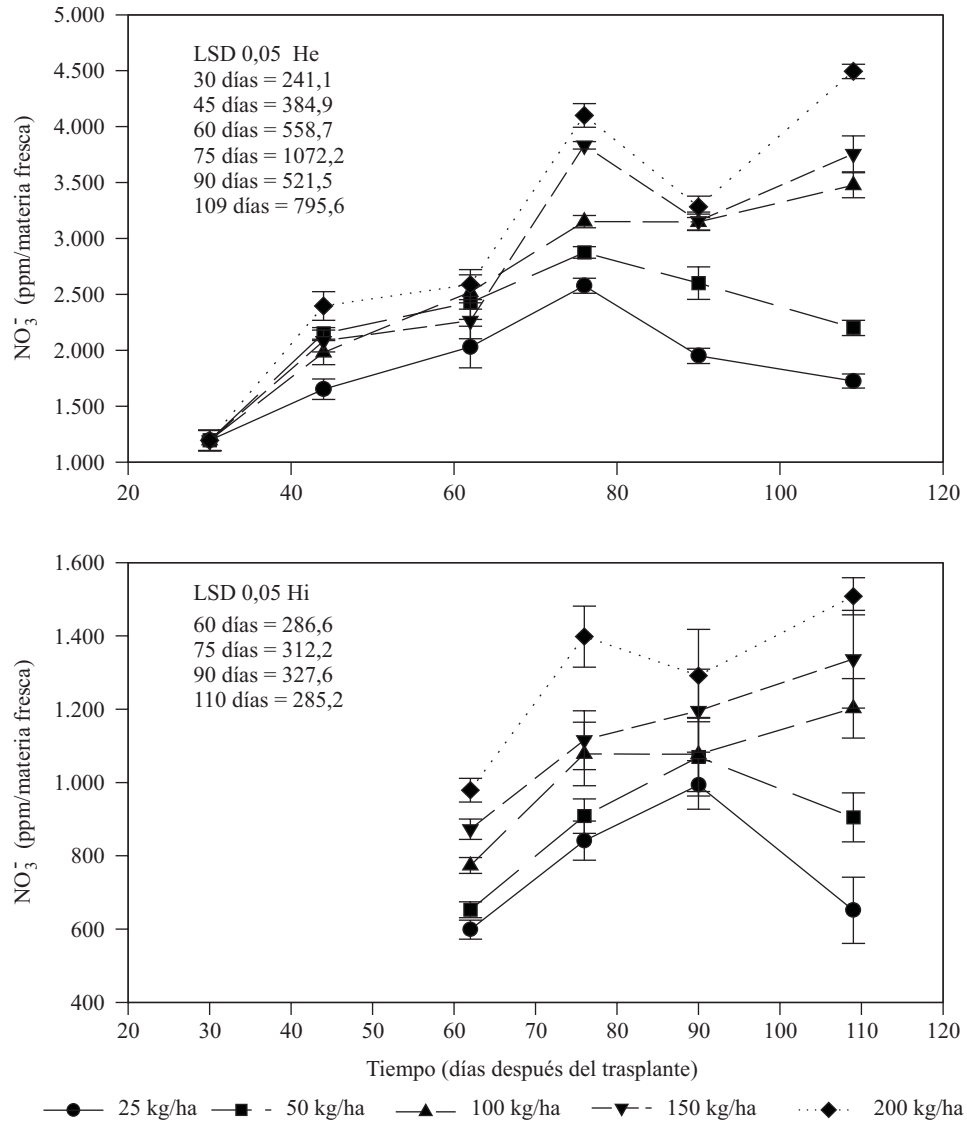


Fig. 6.–Evolución del contenido de nitratos en hojas exteriores (He) y hojas interiores (Hi) de la lechuga iceberg

para mantener una concentración adecuada en el suelo debe tenerse en cuenta el ritmo de absorción de N por el cultivo en función del tiempo, programando las aportaciones en función de las extracciones del cultivo, coincidiendo con lo expuesto anteriormente por Bar-Yosef (1986). En nuestra experiencia, en cultivo al aire libre, concentraciones de NO_3^- inferiores a 50 ppm en la disolución del suelo resultaron deficitarias, considerando necesario incrementar la cantidad de N en la fertilización y suspender las aportaciones de N cuando las concentraciones en la disolución del suelo son superiores a 100 ppm de NO_3^- .

Producción del cultivo

La creciente disponibilidad de NO_3^- en la disolución del suelo por la lechuga iceberg originó respuestas distintas en el rendimiento del cultivo, incidiendo en el número de frutos recolectados, peso comercial de frutos e índice de cosecha (Tabla 1). Cuando la concentración de NO_3^- en la disolución del suelo fue deficitaria, el crecimiento vegetativo se ralentizó, coincidiendo con lo expuesto por Burns *et al.* (1996), disminuyendo la acumulación de biomasa (Fig. 2) y como consecuencia resultando frutos de menor peso comercial (Thompson y Doerge, 1996). Por el contrario, la aportación de cantidades de nitrógeno superiores a la absorción efectuada por el cultivo incrementaron la velocidad de crecimiento, acumulando altas cantidades de biomasa, con plantas de excesivo tamaño, deficiente acogollado y frutos de gran volumen y baja compacidad, lo que generó altos porcentajes de destrío, que redujo significativamente la producción comercial y calidad de cosecha (Tabla 1).

La producción total de biomasa de la lechuga iceberg depende de las condiciones de cultivo y del material vegetal utilizado, fluctuando según diversos trabajos entre las 40 y 95 t/ha, con gastos de nitrógeno entre 82 y 270 kg/ha (Cantliffe *et al.*, 1998; Hochmuth *et al.*, 1994; Sánchez, 2000; Thompson y Doerge, 1996; McPharlin *et al.*, 1995). En las condiciones de nuestra experiencia, la máxima producción de biomasa fresca fue de 53,4 t/ha cuando se aplicaron 100 kg de N/ha, no incrementándose en las plantas que recibieron 150 y 200 kg de N/ha, respectivamente, coincidiendo con lo expuesto por Economakis *et al.* (1997) y Martinetti (1996), que observaron que la respuesta de la lechuga a la fertilización nitrogenada sólo se produce cuando la disponibilidad de nitrógeno en el suelo es deficitaria en relación con la absorción por el cultivo, no teniendo respuesta cuando la concentración de nitrógeno en la disolución del suelo es superior a la absorción de la planta.

Absorción de nitrógeno por el cultivo

La absorción de nitrógeno por la lechuga iceberg está sometida a variaciones dependientes de distintos factores. En ciclos de cultivo de verano, la absorción de nitrógeno se acerca a la absorción potencial máxima (> 90 %), mientras que en ciclos de otoño-invierno la absorción es variable, llegando en algunos casos a no superar el 50 % del potencial máximo. Además de la temperatura, en ciclos de otoño-invierno, la concentración de NO_3^- en la disolución de riego interviene en la absorción del NO_3^- por la planta (Alt y Struwe, 1982; Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985; Slangen *et al.*, 1988). Por el contrario, Economakis *et al.* (1997) no encontraron respuestas en la absorción de N incrementando

la concentración de NO_3^- en la disolución nutritiva de riego. En nuestras condiciones de cultivo se confirmó la influencia de la cantidad de N-NO_3^- presente en la disolución del suelo (extracto suelo agua 1:2) sobre la absorción de N por el cultivo.

El manejo del agua de riego y la distribución de fertilizantes influyen significativamente en la eficiencia del uso del nitrógeno (Jackson *et al.*, 1993; Thompson y Doerge, 1996), principalmente en suelos con alta permeabilidad (Brum *et al.*, 1993; Sánchez, 2000), resultando mucho más eficiente la aportación continua en riego por goteo (Keng *et al.*, 1979; McPharlin *et al.*, 1995; Rolston *et al.*, 1979; Titulaer y Slangen, 1989). La mayor eficiencia conseguida en nuestra experiencia en el uso del nitrógeno respecto a otras experiencias (Cantliffe *et al.*, 1998; Hochmuth *et al.*, 1994; Sánchez, 2000; Thompson y Doerge, 1996) fue debida al tipo de suelo (baja permeabilidad) y distribución continua de agua y nitrógeno en fertirrigación, produciéndose mínimas pérdidas de N por percolación en profundidad, lo que generó concentraciones de NO_3^- en la disolución del suelo acordes con la cantidad de N aportado, coincidiendo con lo reflejado anteriormente por Feigin *et al.* (1982) y Miller *et al.* (1981).

Se ha demostrado que el crecimiento y la producción de la lechuga es óptimo cuando el equilibrio $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ en las fórmulas de fertilizantes es superior a 2,3 (Gastaldi y Sutton, 1989; Raynal-Lacroix *et al.*, 1994; Zito *et al.*, 1994), influyendo también en el desarrollo y distribución de raíces, las cuales intervienen a su vez en la eficacia de la absorción del nitrógeno. Jackson *et al.* (1993) exponen que la mayor eficiencia en la absorción del N en riego por goteo es debida a la distribución de raíces en el perfil del suelo, al concentrarse en profundidades entre 0 y 30 cm. Rufty *et al.* (1981) indican que el crecimiento de la parte aérea de la planta requiere una coordinación con las raíces, donde la actividad para absorber el N depende del balance entre el desarrollo de la parte vegetativa aérea y el desarrollo radicular, así como del flujo continuo de carbohidratos como fuente de energía (Raper *et al.*, 1978), estando regulados estos fenómenos por la intensidad luminosa (Glass, 1989).

Concentración de nitratos en hojas

La acumulación de NO_3^- en hojas de lechuga iceberg resultó significativamente más elevada en hojas externas que en hojas internas (Fig. 6), aumentando durante la fase de roseta y disminuyendo durante la fase de acogollado por el efecto de dilución. Cuando la disponibilidad de NO_3^- fue igual o superior a las extracciones del cultivo, el contenido de NO_3^- en hojas se incrementó durante todo el ciclo de cultivo.

Numerosas experiencias realizadas sobre la acumulación de nitratos en lechuga y otros cultivos hortícolas (apio, espinacas, nabos, acelgas, cebollas, etc.) han demostrado que factores ambientales, cantidad y forma del N en la fertilización y características genéticas influyen en la acumulación de nitratos.

De los factores ambientales, la radiación global durante el ciclo de cultivo es el que mayor influencia ejerce (Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985; Steingrower *et al.*, 1993). En ciclos de cultivo con baja radiación global (cultivos de invierno), la actividad de la enzima nitrato reductasa es baja, dando lugar a elevadas concentraciones de nitrato en planta. Por el contrario, en ciclos de cultivo con alta radiación global (cultivos de primavera), la actividad de la nitrato reductasa es alta, disminuyendo la concentración nitratos en hojas (Myczkowski *et al.*, 1986; Rozek y Wojciechowska, 1990; Steingrower *et al.*,

1993), e incrementando la concentración de ácidos orgánicos (Blom-Zandstra y Lampe, 1983 y 1985; Lacertosa *et al.*, 1997; Roorda Van Eysinga, 1984 b; Wheeler *et al.*, 1998). En nuestras condiciones de cultivo (alta luminosidad en invierno), la acumulación de nitratos en hojas internas (cogollo) de lechuga iceberg fue mucho más baja que la establecida por la Comunidad Económica Europea (2001) como peligrosa para la salud humana, coincidiendo con los resultados obtenidos por Rincón *et al.* (1995) en cogollos comerciales de lechuga iceberg para exportación.

Las cantidades y formas de nitrógeno aportadas al cultivo también influyen en la concentración de nitratos en planta (Pomares *et al.*, 1996; Van der Boon *et al.*, 1990), aumentando la acumulación con formas nítricas (Gardner y Pew, 1979). En condiciones de baja radiación global (cultivos de invierno), bajas cantidades de nitrógeno aportadas al cultivo producen elevadas concentraciones de nitratos en planta, teniendo poca significación el incremento de la cantidad de nitrógeno aportado al cultivo. En condiciones de cultivo con alta radiación global (cultivos de primavera y verano), la concentración de nitratos aumenta en relación con la cantidad de nitrógeno aportado en la fertilización (Roorda Van Eysinga y Van der Meijs, 1985). De igual forma, el aumento de la temperatura disminuye la acumulación de nitratos en hojas de lechuga (Behr y Wiebe, 1992), aunque no suele apreciarse en plantaciones comerciales, debido a que un aumento de la temperatura va acompañado de una alta luminosidad, lo que genera una mayor reducción de nitratos en la planta, disfrazando los efectos de la temperatura. Frota y Tucker (1972) confirman que la lechuga absorbe y utiliza las formas NO_3^- y NH_4^+ , absorbiendo el N- NH_4^+ en pequeña cantidad a temperaturas altas y aumentando su absorción a baja temperatura, consiguiendo con formulaciones amoniacaes (N- NH_4^+) plantas con menor contenido de nitratos en hoja.

Se ha comprobado también que la variabilidad genética produce distinta acumulación de nitratos en hojas de lechuga debido fundamentalmente a la diferente reducción de los nitratos en la planta de cada cultivar, aunque dicha influencia es menor que la debida a la cantidad de nitrógeno aportado y al nivel de luminosidad durante el ciclo de cultivo (Blom-Zandstra y Eenink, 1986; Reinink y Eenink; 1988; Subramanya *et al.*, 1980). En las vacuolas, los nitratos actúan como reguladores osmóticos cuando la fotosíntesis es muy baja para suplir a ácidos orgánicos y azúcares (Blom-Zandstra y Lampe, 1983, 1985; Mott y Steward, 1972). Behr y Wiebe (1992) encontraron una correlación inversa entre nitratos y otros compuestos osmóticos para 19 cultivares de lechuga, demostrando que cultivares con bajo contenido de nitratos tienen un elevado contenido de malato, cloruro, fructosa y glucosa.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) por su financiación al Proyecto SC95-026.

SUMMARY

Influence of nitrogen fertilization in the absorption of nitrogen and nitrate accumulation on iceberg lettuce

Yield response and plant nitrate concentration were studied for nitrogen doses of 25, 50, 100, 150, and 200 kg.ha⁻¹ applied in fertigation. Crop yield increased with N dosages up to 100 kg.ha⁻¹ obtaining 53.4 t.ha⁻¹ of green biomass and 33.1 t.ha⁻¹ of commercial lettuce heads. However, with 150 and 200 kg.ha⁻¹ N applications, the biomass and yield index decreased. The NO₃⁻ content in the soil solution (soil: water extract 2:1) increased with the 150 and 200 kg.ha⁻¹ N applications, and decreased when the quantities of N provided were 25 and 50 kg.ha⁻¹. The concentration of NO₃⁻ remained uniform during the growth cycle when 100 kg.ha⁻¹ of nitrogen were added, and the availability of NO₃⁻ was balanced with the absorption by the plant. Plant N absorption increased significantly between the 25 and 50 kg.ha⁻¹ treatments and those of 100, 150 and 200 kg.ha⁻¹ of N. However, there were no significant differences among the latter treatments. The outer leaves of the plants showed a nitrate concentration three times higher than that of the inner leaves, this concentration changed according to the quantity of nitrogen provided. At harvest the NO₃⁻ concentration in outer leaves was of 1,635 to 4,494 ppm, and in inner leaves of 651 to 1,508 ppm for different quantities of N supplied.

Key words: *Lactuca sativa* L. var. capitata, vegetative growth, concentration, uptake, drip irrigation.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALT D., STRUWE S., 1982. Declive of the nitrate content in lettuce *Lactuca sativa*, var Capitata L. by means of monitoring the nitrogen content of the nutrient solution in hidroponic system. Plant Nutrition. Proceedings of the 9 th. Interneturial Plant Nutrition Colloquium Warwick 1, pp17-21.
- BAR-YOSEF B., 1986. Fertirrigation as a technique to optimice crop yield with special reference to vegetables. Proc. 3rd. Int Conf. Irrig. Tel-Aviv, 1983, pp. 87-97.
- BEHR U., WIEBE J., 1992. Relation between photosynthesis and nitrate content of lettuce cultivars. Sci. Hort. 49, 175-179.
- BLOM-ZANDSTRA G., EENINK A., 1986. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111, 908-911.
- BLOM - ZANDSTRA G., LAMPE J., 1983. The effects of chloride and sulphate salts on the nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.) J. Plant Nut. 6, 611-628.
- BLOM-ZANDSTRA, G., LAMPE, J., 1985. The role of nitrate in the osmoregulation of lettuce (*Latuca sativa* L.) grown at different light intensities. J. Exp. Bot. 36, 1043-52.
- BRUM I., SCHENK M., GYSI, C., 1993. Influence of nitrogen supply on the occurrence of calcium deficiency in field grown lettuce. Acta Horticulturae 339, 125-136.
- BURNS I.G., HANDEL R., WICHMANN W., 1996. Nitrogen supply, growth and development. Acta Horticulturae 428, 21-30.
- CANTLIFFE D.J., HOCHMUTH G.J., KARCHI I., SECKER I., BEN-YEHOSHUA S., 1998. Nitrogen fertility requirement for iceberg lettuce grown on sandland with plastic mulch and drip irrigation. Proc. Fla. State. Hort. Soc. 110, 306-309.
- COMUNIDAD ECONÓMICA EUROPEA., 2001. Contenidos de determinados contaminantes en los productos alimenticios. Reglamentos (CEE) n.º 194/1997 y n.º 466/2001 de la Comisión.
- CRADDOCK V.M., 1983. Nitrosamines and human cancer. Proof of an Association. Nature London 306, 438.
- DELBERT D., HEMPHILL Jr., JACKSON L., 1982. Effect of soil and nitrogen on yield and elemental concentration of bush bean, carrot, and lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107, 740-744.
- ECONOMAKIS C.D., KOLEILAT R., CHARTZONLAKIS K.S., 1997. Effect of nitrogen concentration on growth, water and nutrient uptake of lettuce plants in solution culture. Acta Horticulturae 449, 223-228.
- FEIGIN A., LETEY J., JARREL W., 1982. Celery response to type, amount, and method of N-fertilizer application under drip irrigation. Agron. J. 74, 971-977.
- FROTA J., TUCKER T., 1972. Temperature influence on ammonium and nitrate absorption by lettuce. Proc. Soil Sci. Amer. 36, 97-100.
- GARDNER B.R., PEW W., 1979. Comparison of various nitrogen sources for the fertilization of winter - grown head lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104, 534-536.

- GASTALDI C.R., SUTTON B.G., 1989. Optimizing nitrogen fertilization of vegetable crops by drip irrigation. *Acta Horticulturae* 247, 217-221.
- GLASS A.D., 1989. Environmental influences on ion absorption. En *Plant Nutrition: An Introduction to current concepts*. Boston, Mass Jones & Barlet (Eds). 250 pp.
- HEWITT E.J., 1975. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 26, 72-100.
- HOCHMUTH G., SECKER I., JONES R.T., 1994. N requirements of crisphead lettuce grown with drip irrigation on polyethylene mulched beds. 25 th National Agricultural Plastics Congress. Proceedings of a Conference Held in Lexington, KY, USA: pp. 96-100.
- JACKSON L.E., STIVERS L.J., WARDEN B.T., TANJI K.K., 1993. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. *Fertilizer Research* 37, 93-105.
- KENG J.C., SCOTT T.W., LUGO-LOPEZ M.A., 1979. Fertilizer management with drip irrigation in a oxisol. *Agron. J.* 71, 185-189.
- LEENHARD T D., LAFOLIE F., BRUCKLER, L., 1998. Evaluating irrigation strategies for lettuce by simulation II Nitrogen budget. *European Journal Agronomy* 8, 266-278.
- MARTINETTI L., 1996. Contenuto di nitrati e nitriti in lattuga (*Lactuca sativa* L.) al variare della concimazione azotata. *Rivista di Agronomia* 30, 92-96.
- McPHARLIN I.R., AYLMOORE P.M., JEFFERY R.C., 1995. Nitrogen requirements of lettuce under sprinkler irrigation and trickle fertigation on spear wood sand. *J. Plant Nutrition* 18, 219-241.
- MERINO D., ANSOARENA F.J., 1993. Recomendaciones para el cultivo de hortalizas con bajo contenido en nitratos. *Horticultura* 90, 11-21.
- MILLER R.J., ROLSTON D.E., RAUSCHKOLB R.S., WOLFE D. W., 1981. Labeled nitrogen uptake by drip-irrigated tomatoes. *Agron. J.* 73, 265-270.
- MOTT R.L., STEWARD F.C., 1972. Solute accumulation in plant cells V. An aspect of nutrition and development. *Ann. Bot.* 36, 915-937.
- MYCZKOWSKI J., ROCEK S., SADY W., WOJTASZEK T., 1986. Some indices of nitrate metabolism in lettuce grown by the nutrient film technique on varying nutrient solutions. *Acta Physiologie Plantarum* 8, 43-52.
- POMARES, F., 2000. Fertilización de la lechuga. En: *La Lechuga y la Escarola*. Ed. Mundi-Prensa pp. 105-123.
- RAPER Jr C.D., OSMOND D.L., WAN M., WEEKS W.W., 1978. Independence of root and shoot activities in determining nitrogen uptake rates of roots. *Botanical Gazette* 139, 289-294.
- RAYNAL LOCROIX, C.; BORIN, M., SATTIN M., 1994. Ammonium nitrate nutrition of lettuce. Proceedings of the third congress of the European Society for Agronomy. Padova University. Italy, pp. 620-625.
- REININK K., EENINK A.H., 1988. Genotypical differences in nitrate accumulation in shoots and roots of lettuce. *Scientia Horticulturae* 37, 13-24.
- RINCÓN L., BALSALOBRE E., SÁEZ J., MADRID R., 1991. Extracción de macronutrientes en cultivo de lechuga Iceberg. II Congreso Internacional de Fertirrigación, Almería. pp. 213-220.
- RINCÓN L., SÁEZ J., PELLICER C., 1995. Contenido de nitratos en lechuga tipo Iceberg en las áreas de cultivo de la Región de Murcia. FECOAM, Informe n.º 4, 12-15.
- ROLSTON D., RAUSCHKOLB R.S., PHENE C.J., MILLER R.J., URIU K., CARLSON R.M., HENDERSON D.W., 1979. Applying nutrients and other chemicals to trickle-irrigated crops. *Div. of Agr. Sci. Uni. of Calif. Bulletin* 1893, 1-14.
- ROORDA VAN EYSINGA J., VAN DER MEIJS G., 1985. Effect of nitrogen nutrition and global radiation on yield and nitrate content of lettuce grown under glass. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 16, 1293-1300.
- ROZEK S., WOJCIECHOWSKA R., 1990. Effect of light and growth regulators on the circadian rhythm of nitrate reductase and nitrite reductase activities in greenhouse lettuce leaves. *Folia Horticulturae* II/I, 53-64.
- RUFTY Jr T.W., RAPER Jr C.D., JACKSON, W.A., 1981. Nitrogen assimilation, root growth and whole plant responses of soybean to root temperature, and to carbon dioxide and light in the aerial environment. *New Phytologist* 88, 607-619.
- SADY W., ROZEK S.S., MYCZKOWSKI J., ADAMS P., HIDDING A.P., KIPP J.A.; SONNEVELD C., KREIJ C., 1995. Effects of different forms of nitrogen on the quality of lettuce yield. *Acta Horticulturae* 401, 409-416.
- SÁNCHEZ C.A., 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. *HortScience* 35, 73-77.
- SLANGEN J., GLAS W., TITULAER H., 1988. The importance of fertigation for the improvement of N fertilizer use efficiency in lettuce culture. *Fertilization of Vegetables. Acta Horticulturae* 222, 135-146.
- SONNEVELD C., VAN DEN, ENDE J., 1971. Soil analysis by means of a 1:2 volume extract. *Plant and Soil* 35, 505-516.
- STARK J., JARREL W., LETEY J., VALORAS N., 1983. Nitrogen use efficiency of trickle-irrigated tomatoes receiving injection of N. *Agron. J.* 75, 672-676.

- STEINGROVER E.G., STEENHUIZEN J.W., BOON J., VAN DER BOON J., 1993. Effects of low light intensities at night on nitrate accumulation in lettuce grown on a recirculating nutrient solution. *Neth. J. Agr. Sci.* 41, 13-21.
- SUBRAMANYA R., VEST G., HONNA S., 1980. Inheritance of nitrate accumulation in lettuce. *Hortscience* 15, 525-526.
- THOMPSON T.L., DOERGE T.A., 1996. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated lettuce. Agronomic, economic and environmental out-comes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 168-173.
- TITULAER H.H., SLANGEN J.H., 1989. Use of the analysis of plant growth and nutrient uptake for nitrogen fertilizer recommendations in open air vegetable growing. *Acta Horticulturae* 267, 111-118.
- VAN DER BOON J., STEENHUIZEN J.W., STEINGRÖVER E.G., 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH_4/NO_3 ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *J. Hort. Sci.* 65, 309-321.
- ZITO R.K., FRONZA V., MARTÍNEZ H.E.P., PEREIRA P.R.G., FONTES P.C.R., 1994. Fontes de nutrientes, relações nitro:amônio e molibdenio, em alface (*Lactuca sativa* L.) a produzida em meio hidroponico. *Ceres* 41, 19-443.