CONTENIDO DE NITRATOS EN LECHUGAS CULTIVADAS EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS¹

NITRATE CONTENT IN LETTUCES GROWN IN HYDROPONIC SYSTEMS

Gilda Carrasco²; Jaime Tapia³; Miguel Urrestarazu⁴

RESUMEN

Se estudió el contenido de nitrato en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. Altos niveles de nitrato pueden ser dañinos a la salud humana. La Comisión Europea indica que las plantas de lechuga cultivadas en invernadero en período invernal deberían contener una concentración de nitrato foliar menor a 4.500 mg/kg (peso fresco). En este estudio se determinaron los contenidos de nitrato de lechugas cultivadas en los sistemas hidropónicos de mesa flotante y nutrient film technique (NFT), en invernadero no calefaccionado y en invierno. Cuatro experimentos se realizaron en Talca, Chile, en período invernal (mayo a septiembre). Tres cultivares de lechuga tipo Española (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) fueron evaluados: "Loreto", "Floresta" y "Esmeralda". En el sistema flotante, el contenido de nitrato foliar fluctuó entre 1.344 y 3.839 mg/kg y desde 1.754 a 2.157 mg/kg a inicios y término del período invernal, respectivamente. Los contenidos de nitrato en cultivares de lechuga cultivados en el sistema NFT fluctuaron desde 2.552 a 2.818 mg/kg y entre 2.676 a 3.100 mg/kg a inicios y fin del invierno, respectivamente. Ninguno de los cultivares de lechuga sobrepasó el contenido máximo estipulado por la Comisión Europea y tampoco existieron diferencias consistentes entre ellas.

Palabras clave: Hortalizas de hoja, cultivos sin suelo, salud humana.

ABSTRACT

The nitrate content in leafy vegetables grown in hydroponic systems was studied. High levels of nitrate may be hazardous to human health. The European Commission indicates that lettuce plants grown in a greenhouse in winter should contain a nitrate concentration below 4,500 mg/kg (fresh weight). This study determined the nitrate contents of lettuces grown by float and nutrient film technique (NFT) in hydroponic systems, in greenhouse without a heating system at winter time. Four trials were carried out in Talca, Chile (south hemisphere) from May to September. Three cultivars of type butterhead lettuces (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*): "Loreto", "Floresta" and "Esmeralda" were evaluated. In the float system, the leafy nitrate content fluctuated between 1,344 and 3,839 mg/kg and from 1,754 to 2,157 mg/kg at beginning and end of winter, respectively. The nitrate contents in lettuces grown in NFT, fluctuated from 2,552 to 2,818 mg/kg and between 2,676 to 3,100 mg/kg at beginning and end of winter time, respectively. Neither of lettuce cultivars surpassed the maximum nitrate content stipulated by the European Commission, nor were there consistent differences among them.

Key words: Leafy vegetables, soilless culture, human health.

INTRODUCCIÓN

El consumo de altos contenidos de nitrato en la dieta humana es peligroso debido a que este ion contribuye a la formación de agentes cancerígenos (Hill, 1990; Garbisu *et al.*, 1999; Jaworska, 2005).

El contenido de nitratos aceptable en la ingesta diaria corresponde a 3,65 mg/kg de peso vivo (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1999). Es decir, la ingesta de nitratos diaria de una persona con un peso corporal de 70 kg no debería superar los 259 mg. Las hortalizas, en particular, de hoja

¹ Trabajo financiado por CONICYT (FONDECYT N° 1970585).

² Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca, Chile. E-mail: gcarrasc@utalca.cl

³ Instituto de Química de Recursos Naturales, Universidad de Talca. E-mail: jtapia@utalca.cl

⁴ Departamento Producción Vegetal, Universidad de Almería, España. E-mail: mgavilan@ual.es

Tabla 1

Contenidos máximos de nitrato en lechuga regulados por la Comisión Europea⁵

Tipo de cultivo	Período de cosecha ⁶	mg NO ₃ ⁻ /kg ⁷
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Cosechadas entre 1 octubre y 31 marzo	
	• Lechugas cultivadas en invernadero	4.500
	• Lechugas cultivadas al aire libre	4.000
	Cosechadas entre 1 abril y 30 septiembre	
	• Lechugas cultivadas en invernadero	3.500
Lechuga tipo 'Iceberg'	• Lechugas cultivadas al aire libre	2.500
Lechuga tipo 'Iceberg'	• Lechugas cultivadas en invernadero	2.500
	• Lechugas cultivadas al aire libre	2.000

(lechuga y espinaca) acumulan contenidos de nitratos mayores a otros tipos de alimentos contribuyendo con un 75% a la ingesta diaria (Hill, 1990). Cuando la absorción de nitrato excede a la asimilación, los iones nitratos se pueden acumular en las vacuolas de las células (Grandstedt y Huffaker, 1982). Asimismo, la acumulación de este ion en las hojas se incrementa cuando la planta es cultivada en condiciones restrictivas de luz (Blom-Zandstra, 1989; Roorda van Eysinga, 1984). Así, la planta utilizaría más carbohidratos y iones nitratos como regulador osmótico (Streingröver *et al.*, 1993). Por lo anterior, la Comisión Europea ha legislado indicando los contenidos máximos de nitratos permitidos para lechuga cultivada en invernadero y al aire libre en diferentes épocas del año (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002) (Tabla 1).

Entre las técnicas de cultivo forzado utilizadas en hortalizas, los sistemas de cultivo sin suelo son una alternativa productiva para obtener hortalizas con alta calidad sanitaria, con mayores rendimientos y precocidad en relación a las cultivadas en suelo (Carrasco, 2004). Los sistemas hidropónicos de mesa flotante y NFT son los más empleados para el cultivo de lechugas, especialmente las de tipo mantecosa. Los contenidos de nitrato en este tipo de lechugas prácticamente son desconocidos en Chile. Estudios efectuados en el extranjero indican que ellas acumularían contenidos superiores a los permitidos por la legislación europea

(Blom-Zandstra y Eenick, 1986). Por este motivo, el objetivo del presente estudio fue estimar el contenido de nitratos foliar de cultivares de lechuga tipo mantecosa (*Lactuca sativa* L. cv. *capitata*) producidos en sistemas hidropónicos de mesa flotante y NFT en invernadero no calefaccionado en período invernal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se efectuaron cuatro experimentos en un invernadero sin calefacción de la Estación Experimental Panguilemo, Universidad de Talca, Chile (35°25' L.S.; 71°41' L.O.; 90 m.s.n.m.) período invernal (mayo a septiembre). Los experimentos consistieron en la evaluación de tres cultivares de lechuga mantecosa (*Lactuca sativa* L. cv. *capitata*) "Loreto", "Floresta" y "Esmeralda". Dos de los experimentos correspondieron a sistemas hidropónicos de mesa flotante a inicios y fines de invierno (experimentos 1 y 2, respectivamente) y los otros dos al sistema hidropónico NFT para iguales períodos de invierno (experimentos 3 y 4, respectivamente). El sistema hidropónico mesa flotante se estableció en mesas de madera de 2 x 1 m recubiertas con polietileno negro, sobre las cuales se colocó una lámina de agua de 0,1 m de altura (Marulanda e Izquierdo, 1993). El sistema hidropónico NFT (Carrasco e Izquierdo, 1996; Cooper, 1996) se estableció utilizando canaletas de madera de 14 m de largo con sección rectangular (ancho 0,2 m, altura 0,025 m). La pendiente empleada fue de 2,5%. Las canaletas fueron recubiertas con polietileno negro y sobre ellas recirculó una fina lámina de solución nutritiva (0,005 m). Sobre las canale-

⁵ Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002.

⁶ Hemisferio norte.

⁷ Peso fresco.

tas se depositaron láminas de poliestireno (espesor 0,01 m) previamente perforadas, donde se ubicaron las plántulas. El estanque colector de plástico rígido contuvo la solución nutritiva, la cual fue impulsada por una bomba Pedrollo (1 HP) hasta el final de las canaletas a través de tuberías de PVC.

Las semillas fueron sembradas en cubos de poliuretano (densidad 12 kg/m³) y regadas con agua pura hasta el estado de cotiledones expandidos. Posteriormente, se regaron con solución HHP (concentración baja, 63,3 mg/L N) (Marulanda e Izquierdo, 2004). Las plántulas de lechuga fueron trasplantadas cuando alcanzaron las 5 hojas verdaderas, cuyas fechas de trasplante fueron para los experimentos 1), 2), 3) y 4) el 22 de mayo, 30 de agosto, 3 de junio y 8 de agosto, respectivamente. En ambos sistemas hidropónicos se emplearon manejos agronómicos estándar (Marulanda e Izquierdo, 2004; Cooper, 1996). Las soluciones nutritivas utilizadas fueron Solución Wye (165 mg/L N) para el sistema hidropónico NFT (Varley y Burrage, 1983) y la solución HHP para el sistema mesa flotante, con concentración media (127 mg/L N) (Marulanda e Izquierdo, 2004). En todos los experimentos se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Cada unidad experimental contó con 28 plantas por mesa para el sistema mesa flotante y por canaleta para el sistema NFT, respectivamente. El tamaño de la muestra fue de 4 plantas, a las cuales se evaluó la materia fresca y seca de hojas, separándolas en viejas y nuevas (g/planta). Aquellas hojas que componen el cogollo de este tipo de lechugas fueron consideradas hojas nuevas.

Para la extracción de nitratos se consideró muestras de 300 g de lechugas cultivadas, las cuales fueron secadas en una estufa de aire forzado (Wtc Binder, modelo FD 240) a 70 °C por 48 h. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a molienda para luego efectuar la extracción de nitratos. Para esto, se pesó 100 mg de muestra y se le agregó 20 ml de agua bidestilada a 80 °C. La solución resultante fue agitada por 30 minutos, utilizando un agitador mecánico (Heidolph Unimax, mod. 2010). Luego, la solución resultante fue filtrada a través de filtros de membrana de borosilicato de 0,45 mm de porosidad, utilizando sistemas de filtración de policarbonato (SM 16510, Sartorius). El método utilizado para la determinación de nitrato se basa en la reducción que experimenta

el nitrato a nitrito al pasar por una columna de cadmio cuperizada según métodos de la AOAC (1984) utilizando el método ISO (ISO/6635, 1984). Para estimar el contenido de nitratos ponderado de la parte aérea de lechuga se consideró la materia fresca de las hojas y el contenido de nitratos de las hojas viejas y nuevas.

Los resultados se evaluaron por un análisis de varianza (ANDEVA) con un 1% y 5% de significancia. Cuando la prueba F fue significativa se realizó un análisis de comparación de medias utilizando la prueba D.M.S. (Diferencia Mínima Significativa) al 1 y 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 presenta los rendimientos de materia fresca de los cultivares de lechuga evaluados en los sistemas hidropónicos de mesa flotante y NFT efectuados a inicios y fines de invierno. Estos valores fluctuaron entre 120 y 246 g por unidad, valores aceptables como calibre comercial de lechugas tipo mantecosa (Wien, 1997). Se observa que no existen diferencias significativas entre los cultivares para cada experimento, con la excepción del experimento 3, donde el cultivar “Loreto” presentó un menor peso fresco en relación al cultivar Esmeralda. Asimismo, y a pesar de que los cuatro experimentos se efectuaron en forma independiente y no son comparables estadísticamente, existió la tendencia a obtener lechugas de menor peso al producirlas a inicios de invierno, independiente del sistema hidropónico utilizado (experimentos 1 y 3), lo que se originaría debido a las bajas temperaturas existentes en ese período del año. Los mayores rendimientos se obtuvieron en el sistema hidropónico NFT a fines de invierno.

Las Tablas 3 y 4 presentan los contenidos de nitratos de hojas viejas y nuevas para cada uno de los cultivares de lechuga mantecosa producidos en los sistemas hidropónicos de mesa flotante y NFT. El cv. Esmeralda presentó en general una mayor concentración de nitratos en mesa flotante, sin embargo, no se observaron diferencias consistentes entre los cultivares para esta variable. Por esta razón se procedió a comparar los contenidos de nitratos promedio de las hojas viejas y nuevas de los tres cultivares de lechuga, evaluados para cada uno de los experimentos efectuados (Tabla 5). Así,

Tabla 2

Contenido de materia fresca total (g/planta)⁸ en parte aérea de plantas de lechuga mantecosa, cultivadas en sistemas hidropónicos de mesa flotante y NFT en invierno

Cultivar	Mesa flotante		NFT	
	Experimento 1 inicios de invierno	Experimento 2 fines de invierno	Experimento 3 inicios de invierno	Experimento 4 fines de invierno
Esmeralda	136	142	157 a	245
Floresta	120	137	143 ab	246
Loreto	131	155	129 b	209
P	ns	ns	**	ns

*, **, ***, ns son $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ no significativo, respectivamente.

para el sistema mesa flotante, las hojas viejas y nuevas de lechuga presentaron un similar contenido de nitratos.

Por el contrario, en los experimentos en el sistema NFT existió un mayor contenido de nitratos en hojas viejas, en relación a las nuevas, diferencia que fue significativa estadísticamente. Estudios anteriores (Bellaloui y Pilbeam, 1990, Carrasco *et al.*, 1994) indican que la mayor acumulación de nitratos en las hojas viejas se debería a una menor actividad de la enzima nitrato reductasa, la cual es sustrato inducible. De esta forma, las plantas de lechuga cultivadas en mesa flotante con una solución nutritiva con un menor contenido de N en com-

paración a las cultivadas en sistema NFT podrían presentar una menor actividad enzimática en sus hojas nuevas (Beevers y Hageman, 1972).

Los contenidos de nitratos foliar ponderados para los diferentes cultivares de lechuga mantecosa fluctuaron entre 1.344 y 3.839 mg/kg (Tabla 6). En diagnósticos realizados en el Reino Unido durante la temporada 1994/95 para este tipo de lechuga, el contenido de nitratos fluctuó entre 1.105 y 5.628 mg/kg (Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, 1996). En Turquía (Tosun y Ustun, 2004) encontraron que el contenido de nitratos promedio en lechugas cultivadas en invernadero fluctuaba entre 2.597 y 2.190 mg/kg.

Tabla 3

Contenido de nitratos (mg/kg)⁹ en hojas viejas y nuevas en plantas de lechuga mantecosa cultivadas en sistema hidropónico de mesa flotante en invierno

Cultivar	Experimento 1 (inicios de invierno)		Experimento 2 (fines de invierno)	
	hojas viejas	hojas nuevas	hojas viejas	hojas nuevas
Esmeralda	2.089	2.203 a	2.002	3.150 a
Floresta	1.891	1.113 b	1.862	2.167 b
Loreto	1.685	2.379 a	1.954	2.148 b
P	ns	**	ns	**

*, **, ***, ns son $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ no significativo, respectivamente.

⁸ Peso fresco.

⁹ Peso fresco.

Tabla 4

Contenido de nitratos (mg/kg)¹⁰ en hojas viejas y nuevas en plantas de lechuga mantecosa cultivadas en sistema hidropónico NFT en invierno

Cultivar	Experimento 1 (inicios de invierno)		Experimento 2 (fines de invierno)	
	hojas viejas	hojas nuevas	hojas viejas	hojas nuevas
Esmeralda	2.048 a	504	2.499 ab	323
Floresta	2.320 b	498	2.274 a	403
Loreto	2.222 ab	585	2.772 b	329
<i>P</i>	**	ns	*	ns

*, **, ***, ns son $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ no significativo, respectivamente.

Tabla 5

Contenido promedio de nitratos (mg/kg)¹⁰ de tres cultivares de lechuga mantecosa evaluados en sistemas de mesa flotante y NFT en invierno

Cultivar	Mesa flotante		NFT	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Hojas viejas	1.888	1.939	2.196 a	2.514 a
Hojas nuevas	1.158	1.488	528 b	436 b
<i>P</i>	ns	ns	*	*

*, **, ***, ns son $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ no significativo, respectivamente.

Tabla 6

Contenido ponderado de nitratos (mg/kg)¹¹ en hojas de lechuga mantecosa cultivadas en sistemas de mesa flotante y NFT en invierno

Cultivar	Mesa flotante		NFT	
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Esmeralda	3.839 a	2.157	2.552 a	2.821 ab
Floresta	1.344 b	1.754	2.818 b	2.676 a
Loreto	2.145 b	1.899	2.807 ab	3.100 b
<i>P</i>	*	ns	* *	

*, **, ***, ns son $P \leq 0,05$; $P \leq 0,01$; $P \leq 0,001$ no significativo, respectivamente.

¹⁰ Peso fresco.

¹¹ Peso fresco.

La concentración foliar de nitratos de algunos cultivares de lechuga evaluados presentaron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, no existió consistencia en estos valores. Asimismo, cabe destacar que ninguno de los cultivares de lechuga, bajo las diferentes condiciones de cultivo, superaron la concentración de nitratos máxima fijada por la Comisión Europea. Otros estudios efectuados en el Reino Unido indican que el 6% de las lechugas muestreadas en la temporada 1997/98 superaron los contenidos máximos de nitratos especificados por la Comisión Europea (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2002).

Nuevos estudios en lechuga deberían efectuarse para estimar la acumulación de este ion al

momento de la cosecha, considerando diferentes latitudes, épocas de cultivo y sistemas productivos.

CONCLUSIÓN

Los contenidos de nitratos en los cultivares de lechuga tipo mantecosa producidos en sistemas hidropónicos durante el período invernal no superaron el contenido de nitratos máximo exigido en los países miembros de la Comunidad Europea, lo que indicaría que serían inocuos para la salud humana. No obstante, no existieron diferencias consistentes entre los cultivares evaluados.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 1984. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th ed. USA: Arlington. p. 611-613.
- BEEVERS, L. Y HAGEMAN, R.H. 1972. The role of light in nitrate metabolism in higher plants. *Photophysiology* 7: 85-13.
- BELLALLOUI, N. Y D.J. PILBEAM. 1990. Reduction of nitrate in leaves of tomato during vegetative growth. *Journal of Plant Nutrition* 13: 39-55.
- BLOM-ZANDSTRA, M. 1989. Nitrate accumulation in vegetables and its relationship to quality. *Annals of Applied Biology* 115: 553-561.
- BLOM-ZANDSTRA, M. Y EENICK, A. H. 1986. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. *Journal of American Society of Horticulture Science* 111: 908-911.
- CARRASCO, G., BURRAGE, S. Y KAZAKIDOU, D. 1994. Nitrate accumulation in red chicory (*Cichorium intybus* L.) grown at a low level of light intensity. *Acta Horticulturae* 61: 274-281.
- CARRASCO, G. E IZQUIERDO, J. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: la solución nutritiva recirculante "NFT". Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile. p. 29-45.
- CARRASCO, G. 2004. El NFT. En: Urrestarazu, M. (ed.). Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid. p. 541-554.
- COOPER, A. 1996. The ABC of NFT. Casper Publications Pty Ltd. Narrabeen. p. 35-49.
- DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. 2002. Reglamento (CE) N° 563/2002. Revisado en: http://europa.eu.int/eurlex/pri/es/oj/dat/2002/l_086/l_08620020403es00050006.pdf.
- GARBISU, C., BLANCO, A., ALKORTA, I., LLAMA, M. J. Y SIERRA, J. L., 1999. Biotecnología con cianobacterias. *Investigación y Ciencia*: 64-71.
- GRANSTEDT, R. D. Y HUFFAKER, R. C. 1982. Identification of the leaf vacuole as major nitrate storage pool. *Plant Physiology* 79: 410-413.
- HILL, M. J. 1990. Nitrates and nitrites from food and water in relation to human disease. En: Ellis Wood (ed.) *Food Science and Technology*. London, p. 163-193.
- ISO/6635. 1984. Fruits, vegetables and derived products. Determination of nitrite and nitrate content. En: *Molecular absorption spectrophotometric method*. International Organization for Standardization (ed.). Geneva. Switzerland. p. 65-76.
- JAWORSKA, G. 2005. Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. *Food Chemistry* 89: 235-242.
- MARULANDA, C. E IZQUIERDO, J. 2004. Manual Técnico: La Huerta Hidropónica Popular. FAO (ed.), Santiago. p. 35-45.
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND FISHERIES, MAFF. 1999. Nitrate in lettuce and spinach. Food surveillance information sheet 177, 11.
- MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND FISHERIES, MAFF. 1996. Nitrate in vegetables. Food surveillance information sheet 91: 7.
- ROORDA VAN EYSINGA, J. P. 1984. Nitrate in vegetables under protected cultivation. *Acta Horticulturae* 145: 251-256.
- STEINGRÖVER, E. J. W. STEENHUIZEN & J. VAN DER BOON. 1993. Effect of low light intensities at night on nitrate accumulation in lettuce grown on a recirculating nutrient solution. *Neth. J. Agric. Sci.* 41, 13-21.
- TOSUN, I. Y USTUN, N. S. 2004. Nitrate content of lettuce grown in the greenhouse. *Bulletin-of-Environmental-Contamination-and-Toxicology* 72(1): 109-113.
- VARLEY, J. Y BURRAGE, S. 1981. New solution for lettuce. *Grower* 95 (15), 19-25.
- WIEN, H. C. 1997. 14. Lettuce. En: Wien H.C. (ed.). *The physiology of vegetable crops*. CAB International. London. 479-509.