EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE NITRATOS EN TRES CICLOS DE CULTIVO DE LECHUGA ROMANA, BAJO LA APLICACIÓN DE DISTINTOS FERTILIZANTES

E. CONESA
A. ESTEBAN
J. OCHOA
J. A. FERNÁNDEZ

Departamento de Producción Vegetal. UPCT. Cartagena (Murcia)

J. ÁLVAREZ-ROGEL

Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. UPCT. Cartagena (Murcia)

L. F. CONDÉS

OCA Torre Pacheco. Consejería de Agricultura y Agua.
Comunidad Autónoma de Murcia

RESUMEN

Se estudió la evolución del contenido de nitratos en lixiviados y en planta en tres ciclos de cultivo (dos en primavera y uno en otoño) de lechuga tipo romana cv. Olympus, bajo la aplicación de cuatro tratamientos distintos de fertilización: 1) el recomendado para Producción Integrada en la Región de Murcia, 2) un abonado ecológico líquido (Rombiorgán), 3) dos fertilizantes nitrogenados de liberación lenta y 4) una mezcla de bacterias fijadoras (Bioprón). Se seleccionó una parcela al aire libre, en el Campo de Cartagena, en la que se realizaron tres repeticiones de cada tratamiento. Cada repetición estuvo formada por tres mesetas de cultivo de 6 m de longitud, separadas 1 m entre sí. Se colocaron sondas de succión a dos profundidades distintas, a 30 y 60 cm, para recoger los lixiviados del agua de riego. En el momento de recolección se midió el contenido de nitratos en hojas.

El contenido de nitratos de los lixiviados en las sondas de 30 y 60 cm fue disminuyendo en cada ciclo conforme se acercaba el momento de recolección. En el cultivo de otoño se obtuvieron lechugas más altas, más anchas y con mayor concentración de nitra-

tos en hoja que en los cultivos de primavera; por el contrario la mayor longitud de tallo y el contenido relativo de clorofila más elevado se consiguió en primavera debido a las altas temperaturas y a la radiación elevada. Al finalizar los tres ciclos de cultivo, el abonado que produjo los valores mayores de rendimiento, a la vez que la mayor concentración de nitratos en hoja fue la fertilización recomendada de abonado para lechuga, que dicta la Normativa de Producción Integrada de la Región de Murcia.

Palabras clave: *Bioprón, Rombiorgan, Producción Integrada, fertilizante de liberación lenta, sondas de succión.*

INTRODUCCIÓN

En las regiones de clima templado, el cultivo de la lechuga al aire libre se produce durante todo el año, variando la producción y los parámetros de calidad en función de la época; con temperaturas bajas y alta intensidad de luz se consiguen los mejores resultados de producción y calidad (Pavlou *et al.,* 2007). La lechuga tiende a acumular altas cantidades de nitratos en sus hojas, dependiendo de factores genéticos, medioambientales y agrícolas (Santamaría, 2006). Aunque recientes estudios manifiestan un efecto beneficioso de los nitratos, principalmente relativos al control de la flora intestinal (Lundberg *et al.,* 2004), la concentración de nitratos en las hojas comestibles de lechugas está regulada por la Comisión Europea Reglamento Nº 563/2002, que ha fijado límites máximos para proteger a los consumidores de posibles riesgos toxicológicos tras el consumo de alimentos ricos en nitratos (Pavlou *et al.*, 2007); De los factores estudiados, la fertilización nitrogenada y la intensidad de la luz, han sido identificados como los que más influyen en el contenido de nitratos en hojas (Santamaría, 2006).

Por otro lado, parece que existe una relación directa entre el incremento del contenido de nitratos en las aguas freáticas y el uso de fertilizantes nitrogenados (Fushiwaki *et al.,* 2005). El método, dosis y momento de aplicación y la forma química del fertilizante nitrogenado utilizado son factores que se pueden manipular para ajustarlos a las necesidades de cada cultivo y de este modo evitar las pérdidas de nitratos por lixiviación e incrementar la eficiencia del uso del nitrógeno (Baker *et al.,* 1981). Los riesgos de contaminación por lixiviación fundamentalmente se deben al aporte excesivo de abonados nitrogenados a los cultivos en áreas de agricultura intensiva, lo que ha llevado consigo la exigencia de una limitación de aportaciones orgánicas, nitrogenadas, o de otra naturaleza para reducir los riesgos de contaminación (Nolasco *et al.*, 2005), sobre todo teniendo en cuenta que cuando los requerimientos de nutrientes de las plantas están cubiertos y existen en exceso, el nitrato del suelo es fácilmente lixiviado por la lluvia (Candela, 1998).

El objetivo de este trabajo fue comparar distintos tratamientos de fertilización en tres ciclos de cultivo de lechuga romana, para determinar en que medida los distintos fertilizantes pueden generar problemas por lixiviación de nitratos o acumulación de estos en planta. Para ello se analizó tanto la evolución de nitratos en lixiviados, como la acumulación en planta. Además se estudiaron los efectos de los diferentes tipos de fertilización sobre distintos parámetros de desarrollo vegetativo de la lechuga romana para evaluar la mejor relación entre fertilizante y ciclo de cultivo en función del rendimiento y calidad en cada ciclo de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en una parcela a campo abierto de la Estación Experimental Agroalimentaria Tomás Ferro (ESEA), situada en La Palma (Cartagena), perteneciente a la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT). Se realizaron tres ciclos de cultivo de lechuga tipo romana cv. Olympus, dos en primavera y uno en otoño. El primer ciclo de cultivo comenzó el 12 de abril y finalizó el 8 de junio de 2007, siendo por tanto su duración de 57 días. En este período, la temperatura máxima registrada fue de 24,8 ºC y la mínima de 18 ºC, siendo la precipitación total de 4 mm. El segundo ciclo de cultivo comenzó el 3 de octubre y la recolección se realizó el 17 de diciembre, con una duración de 75 días. Durante este período la temperatura máxima registrada fue de 22 ºC y la mínima de 7,2 ºC, siendo la precipitación total de 187,4 mm y el tercer ciclo comenzó el 18 de marzo y la recolección se hizo el 13 de mayo, con una duración de 55 días. La temperatura máxima fue de 20,6 ºC y la mínima de 13,3 ºC, con una precipitación total de 66,6 mm.

Se utilizaron cuatro tipos de fertilización durante los tres ciclos de cultivo: a) Producción Integrada en la Región de Murcia: fertilización siguiendo las recomendaciones de abonado para lechuga que dicta la Normativa de Producción Integrada de la Región de Murcia, 2) Rombiorgán (abonado ecológico líquido), 3) fertilizantes nitrogenados de liberación lenta y 4) Bioprón (mezcla de bacterias fijadoras).

Fertilizantes ensayados

Tratamientos	Dosis
Producción Integrada	43 kg/ha de NH4NO3 57,69 kg/ha de KH_2PO_4 218,23 kg/ha de K_2NO_3 111,11 kg/ha de $(NO_3)_2Ca$
Rombiorgan 31% m.o.+ 1% N + 0,5% P + 2% K	60 litros/ha
Liberación lenta	57,69 kg/ha de KH_2PO_4 200,77 kg/ha de K_2SO_4 40 l/ha de Glucoumato base L1 (0,8% N) 186 l/ha de Glucoumato L2 (18% N)
Bioprón *Azospirillium brasilense* (Cepa M3) *Pantoea dispersa* (Cepa C3)	300 kg/ha 240 kg/ha de K_2SO_4

Se diseñó un experimento en tres bloques de repetición para cada ciclo de cultivo. En cada bloque, la parcela estuvo formada por tres caballones de 6 m de longitud y 1 m de separación entre mesetas, realizándose tres repeticiones de cada tratamiento distribuidas al azar. El caballón intermedio fue el de muestreo, de donde se obtuvieron las plantas objeto de estudio tras la recolección.

Antes de la primera plantación, y para la preparación del suelo, se adicionaron 2 kg/m^2 de estiércol y se realizaron las labores con subsolador, fresadora y, finalmente

acaballonadora para preparar los caballones. Seguidamente las lechugas fueron plantadas en la parcela en forma de plántula con 3 ó 4 hojas verdaderas.

En los tres ciclos de cultivo, posteriormente a la plantación se les suministró a las plántulas un riego abundante para la implantación del cultivo. El resto de riegos que se adicionaron se determinaron teniendo en cuenta la evapotranspiración de la semana anterior por el método de Penman-Monteith y el aporte total varió, para el primer cultivo entre 2,44 m^3 al principio del cultivo hasta 9,6 m^3, mientras que en el segundo cultivo el aporte fue de 2,95 m^3 al inicio del cultivo y 2,1 m^3 al final y en el tercer cultivo fue de 3,87 m^3 al principio del cultivo y 7,42 m^3 al final.

En el primer y tercer ciclo se comenzó regando dos veces por semana y a partir de la quinta semana, cuando el calor fue más intenso, tres veces, mientras que en el segundo cultivo, se comenzó regando tres veces y a partir de la quinta semana se realizaron dos riegos. Los distintos tratamientos de fertilizantes se empezaron a incorporar en la segunda semana de plantación.

La colocación de las sondas de succión se realizó una semana después del transplante, insertando cuatro sondas (dos a 30 cm y dos a 60 cm) por cada caballón de estudio intercaladas dos a dos, dos al principio del caballón y dos al final.

En los tres ciclos de cultivo, los lixiviados se recogieron desde la segunda semana de plantación, coincidiendo con la fecha de incorporación de los fertilizantes, hasta la semana anterior de la recolección.

Para la determinación de las características morfológicas de las plantas se recolectaron 12 plantas del caballón central de cada tratamiento y repetición, en total 144 plantas para cada uno de los ciclos de cultivo. Se midió el peso bruto (g), peso neto comercial (g), anchura (cm) y altura (cm) de la planta. Seguidamente se dividieron las doce plantas de cada repetición en tres grupos de los que se sacaron cuatro hojas externas y cuatro internas por grupo. De estas hojas se determinó el peso fresco, contenido relativo de clorofila, realizado con un medidor de clorofila SPAD-502 (Konica Minolta Holdings, Inc.) y el peso seco después de permanecer en una estufa a 60 ºC hasta peso constante. Posteriormente, las hojas secas se molieron, obteniéndose un polvo adecuado para realizar la determinación de nitratos. La extracción de los nitratos de las hojas se realizó agitando las muestras en agua destilada durante media hora. Se analizó la concentración de nitratos en las hojas externas, ya que es en estas hojas donde mayor concentración de nitratos se acumula (Santamaría *et al.*, 1999)

Tanto los nitratos de los lixiviados, así como los de las hojas, se midieron con cubetas de cuarzo a una Ï= 220 nm según la metodología propuesta por la A.O.A.C.(1975) en un espectofotómetro Dinko 8500, restando la interferencia debida a la materia orgánica a una Ï= 275 nm. El contenido de nitratos en hojas se expresó como mg kg^{-1} de producto fresco (p.f.) y el de los lixiviados en mg L^{-1}.

Para los análisis estadísticos, se realizó un ANOVA y, cuando existieron diferencias significativas entre grupos ($P<0.05$), las medias fueron separadas con la Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de los distintos tratamientos de fertilización produjo diferencias significativas en la altura, anchura y peso bruto en los tres ciclos de cultivo. El peso comercial fue significativamente diferente en los dos ciclos de primavera no mostrando diferencias entre los tratamientos en el ciclo de otoño (tabla 1).

En el primer ciclo de cultivo, los mayores valores de peso tanto bruto como comercial y altura de planta, se obtuvieron con el fertilizante Rombiorgan y el de lenta liberación, frente a los valores más bajos que se obtuvieron con el fertilizante de Producción Integrada.

En el segundo cultivo, en otoño, el fertilizante de lenta liberación aumentó el tamaño de las lechugas tanto en altura como en anchura, mostrando el mismo comportamiento que en el primer ciclo de cultivo, mientras que Biopron produjo los valores menores de estos parámetros. El peso bruto aumentó con el fertilizante de Producción Integrada, sin embargo el peso comercial no mostró diferencias significativas entre los distintos fertilizantes.

En el tercer ciclo de cultivo, los mayores valores de peso (bruto y comercial) se obtuvieron con la fertilización de Producción Integrada; mientras que la altura y la anchura no mostraron diferencias significativas con el abono de lenta liberación. Los valores mas bajos de estos parámetros se obtuvieron con Biopron.

El contenido relativo de clorofila (SPAD) de las hojas externas no mostró diferencias significativas entre tratamientos en los tres ciclos de cultivo (tabla 2), mientras que en las hojas internas mostraron diferencias significativas en valores SPAD entre los distintos tratamientos en el segundo y tercer ciclo de cultivo. En general, se apreció una disminución de unidades SPAD en el segundo cultivo respecto al primero, aumentando ligeramente los valores en el tercer ciclo, debido posiblemente a la relación existente entre temperatura media del aire y concentración de clorofila. Sainz y Echevarría (1998) apuntan que cuando la temperatura aumenta a lo largo del ciclo de cultivo, aumentan a su vez los valores de SPAD. La diferencia de radiación recibida por la planta en los tres ciclos de cultivo también pudo ser responsable de la variación de unidades SPAD en los distintos cultivos.

La concentración de nitratos en planta disminuyó considerablemente en el tercer ciclo de cultivo respecto a los dos ciclos anteriores con todos los tratamientos ensayados (tabla 2). Mientras que en el primer ciclo de cultivo no se obtuvieron diferencias significativas entre los distintos fertilizantes, en el segundo y tercer ciclo de cultivo los valores mayores se obtuvieron con la fertilización de Producción Integrada y los menores con Biopron. El segundo ciclo de cultivo fue el que produjo la mayor concentración de nitratos en planta, debido a que la acumulación de nitratos en vegetales es mayor a menor radiación solar (Gonnella *et al.,* 2002). En el tercer ciclo de cultivo los valores de nitratos en las hojas externas no excedieron de 477 mg kg^{-1} p.f., obtenido con el fertilizante de Producción Integrada, consiguiéndose con Biopron el menor valor (37,10 mg kg^{-1} p.f.) de los tres ciclos de cultivo con todos los fertilizantes. Pavlou *et al.* (2007) obtuvieron concentraciones de nitratos en hojas de lechuga romana inferiores a 664 mg kg^{-1} p.f., en los tres ciclos de cultivo ensayados (primavera, otoño e invierno), alcanzando las mínimas concentraciones de nitratos (25 mg kg^{-1} p.f.) en el cultivo de invierno.

En cuanto al contenido de nitratos analizados en los lixiviados de las sondas, en el primer ciclo de cultivo, se apreció una tendencia a la disminución en el contenido de nitratos en las sondas situadas a 30 y 60 cm, sin diferencias significativas entre los distintos tratamientos. En las sondas situadas a 30 cm y con los tratamientos de Rombiorgan y abono de lenta liberación se consiguió una reducción en el contenido de nitratos del 96% desde el inicio a la finalización del ciclo de cultivo, mientras que en las de 60 cm, la reducción fue mayor con los tratamientos de Rombiorgan y Biopron (91% y 97% respectivamente) (figura 1).

En el segundo ciclo de cultivo, se observó una reducción del contenido de nitratos respecto al primer ciclo de cultivo en las dos profundidades, siendo más evidente en las

sondas de 30 cm, donde se alcanzó una disminución en el contenido de nitratos del 99% con todos los tratamientos ensayados; en las sondas de 60 cm la reducción de nitratos a lo largo del ciclo de cultivo no sobrepasó el 97%.

En el tercer ciclo de cultivo continuó la tendencia a la disminución del contenido de nitratos en las sondas de 30 y 60 cm, respecto al primer y segundo ciclos de cultivo. En las sondas situadas a mayor profundidad, se obtuvo una reducción de nitratos al inicio del cultivo de hasta el 90%, respecto al segundo ciclo de cultivo. Sin embargo, desde el inicio a la finalización del tercer ciclo de cultivo, la disminución de los nitratos de las sondas de 30 cm fueron del orden del 97% en todos los tratamientos ensayados, mientras que en las sondas de 60 cm, únicamente con el tratamiento de Producción Integrada, se consiguió una reducción de nitratos desde el inicio a la finalización del ciclo del 95%. Esta tendencia a la disminución en el contenido de nitratos de los lixiviados desde el primer ciclo de cultivo al último, puede deberse a la existencia de un exceso en el aporte inicial de fertilizantes nitrogenados que la planta no requería para su crecimiento y por tanto eran lixiviados con los riegos; en los siguientes ciclos de cultivo, la lixiviación de nitratos fue menor, puesto que la única disponibilidad de nitrato fue el aportado por los distintos tratamientos fertilizantes.

Como conclusión podemos indicar que el fertilizante que actuó más favorablemente en el tamaño de planta (peso, altura y anchura), en el segundo y tercer ciclo de cultivo, fue el fertilizante de Producción Integrada, aunque indujo una mayor concentración de nitratos en hoja que el resto de tratamientos. En el primer ciclo de cultivo con el abono de lenta liberación, se consiguieron los mejores valores de tamaño de planta a la vez que una menor concentración de nitratos en hoja. Con Biopron se obtuvieron las concentraciones de nitratos más bajas en hoja en los tres ciclos de cultivo El descenso en el contenido de nitratos lixiviados en las sondas de 30 y 60 cm fue mayor en el tercer ciclo de cultivo independientemente del fertilizante utilizado, mostrando en los tres ciclos de cultivo una disminución en la concentración de nitratos desde el inicio a la finalización de los ciclos.

BIBLIOGRAFÍA

BAKER, J.L.; JONSON, H.P. (1981). Nitrate nitrogen in tile drainage as affected by fertilization. J. Environ. Qual., 10: 519-522.

CANDELA, L. (1998). Conferencia N.1.2: La contaminación de las aguas subterráneas por las actividades agrarias en España: visión desde la investigación. Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente. AIH-GE: 53-64.

FUSHIWAKI, Y;. MAGARA, Y. (2005). Water pollution by agriculture and other rural uses. En: Water quality and standards, (Kubota S. y Tsuchiya Y. eds.) Faculty of Pharmaceutical Sciences, Kyushyu University, Japan.

GONNELLA, M.; SERIO, F.; SANTAMARÍA, P. (2002). Fattori genetici e ambientali e contenuto di nitrato degli ortaggi. Colture protette, 12: 14-19.

LUNDBERG, J.O.; WEITZBERG, J.; COLE, J.A.; BENJAMÍN, N. (2004). Nitrate, bacteria and human health. Nat. Rev. Microbiol., 2 (8): 681.

NOLASCO, J.; OUTEIRIÑO, A.; MONZÓ, J.; GONZÁLEZ, A.; LÓPEZ, J. (2005). Fertilización en hortalizas de hoja. Horticultura, 188: 32-38.

PAVLOU, G.C.; EHALIOTIS, C.D.; KAVVADIAS, V.A. (2007). Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. Scientia Horticulturar., 111: 319-325.

SAINZ, H.; ECHEVERRÍA, H. (1998). Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 103 (1): 37-44.
SANTAMARÍA, P. (2006). Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. J. Sci. Food Agric., 86: 10-17.

Tabla 1. Parámetros de desarrollo vegetal en lechuga romana cv. Olympus. Diferentes letras dentro de una misma columna indican significativas según el test de Duncan (p=0.05)

Parámetros medidos Ciclo de cultivo	Peso fresco bruto (g)			Peso comercial (g)			Altura planta (cm)			Anchura planta (cm)		
	1er ciclo primav	2º ciclo otoño	3er ciclo primav	1er ciclo primav	2º ciclo otoño	3er ciclo primav	1er ciclo primav	2º ciclo otoño	3er ciclo primav	1er ciclo primav	2º ciclo otoño	3er ciclo primav
Produc. Integrada	872.8 a	1032.6 b	1255 c	629,3 a	676,5 a	810,5 c	30.83 a	34.55 bc	34,5 c	11.09 a	13.73 ab	13,29 b
Rombiorgan	1038 b	936.6 ab	913,4 ab	727,5 b	649,6 a	613 ab	32.5 ab	33.29 ab	30,55 ab	12.87 b	14.94 c	12,55 ab
Abono de lenta liberación	1050.3 b	990,1 ab	1018,5 b	703 b	703,2 a	668,2 b	33.77 b	35.69 c	32,77 bc	12.47 ab	14.51 bc	13,33 b
Bioprón	972,7 ab	899,3 a	788,2 a	664,2 ab	599,1 a	519,8 a	32.83 ab	32.15 a	29,80 a	12.61 ab	13.33 a	11,70 a

Tabla 2. Concentración de nitratos en hojas externas y contenido relativo de clorofila (SPAD) en lechuga tipo romana cv. Olympus. Diferentes letras dentro de una misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos, según el test de Duncan (p=0.05)

Parámetros medidos Ciclo de cultivo	SPAD hojas externas			SPAD hojas internas			NO_3^- hojas externas (mg kg^{-1} p.f.)		
	1er ciclo Primavera	2º ciclo Otoño	3er ciclo Primavera	1er ciclo Primavera	2º ciclo Otoño	3er ciclo Primavera	1er ciclo Primavera	2º ciclo Otoño	3er ciclo Primavera
Producción Integrada	33,3 a	24,63 a	27,48 a	7,72 a	4,03 a	2,87 a	1833,98 a	2644,18 b	477, 56 b
Rombiorgan	29,07 a	23,0 a	28,01 a	8,52 a	4,32 a	5,03 ab	1238,08 a	2668,29 b	307,26 ab
Abono de lenta liberación	27,96 a	21,49 a	29,27 a	5,67 a	5,93 b	5,47 b	1738,52 a	2214,18 ab	335,74 ab
Bioprón	28,43 a	24,19 a	26,87 a	5,46 a	4,27 a	5,58 b	1189,51 a	1015,11 a	37,10 a

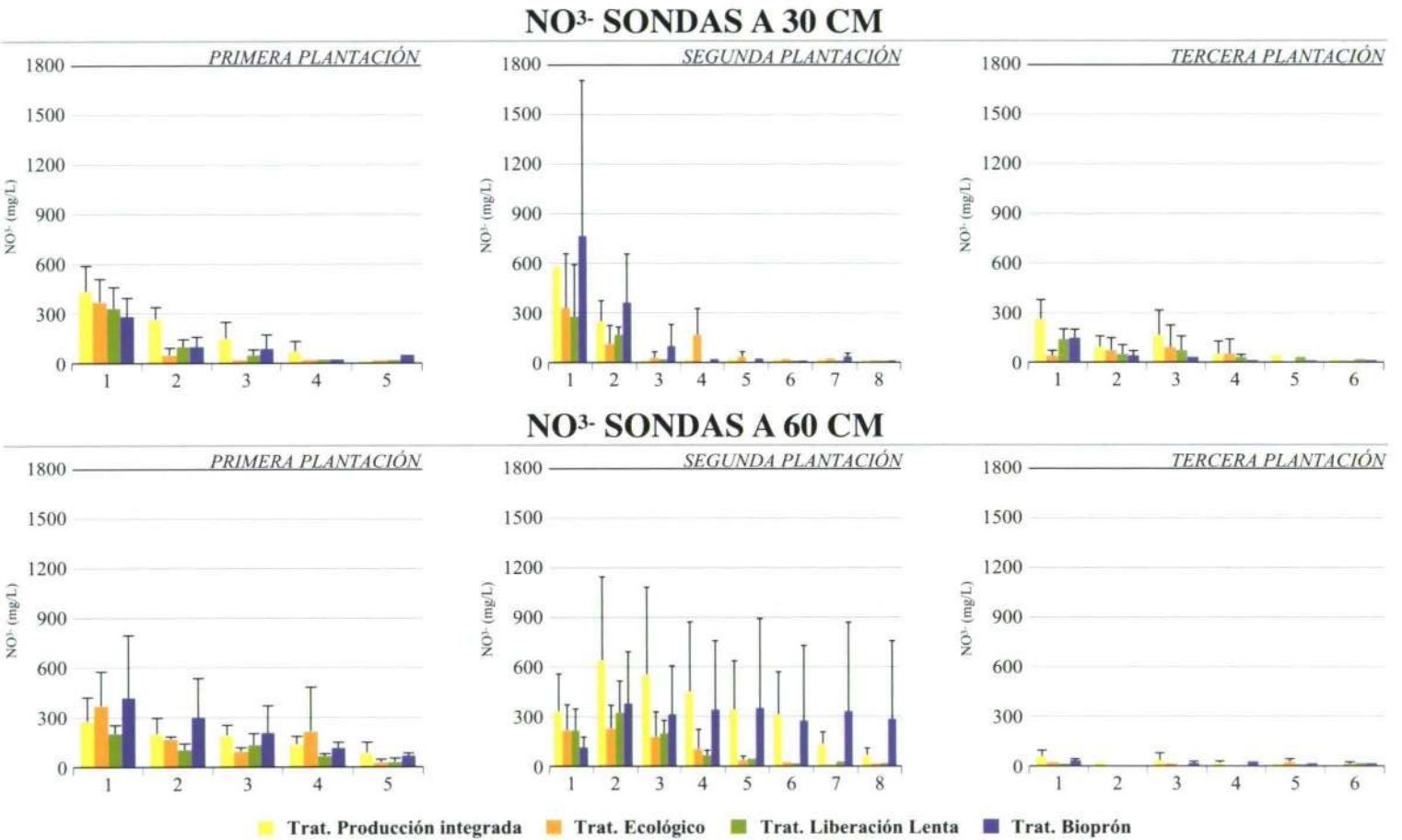

Figura 1. Evolución de la concentración de nitratos de lixiviados a 30 y 60 cm de profundidad. Ciclos de cultivo de lechuga romana. Primavera-Otoño-Primavera