

Evaluación de la Actividad Nitrato Reductasa y Crecimiento Hidropónico de Lechuga (*Lactuca Sativa* L. 'Crufia') en Función de Cuatro Soluciones Nutritivas

Evaluation of Nitrate Reductase Activity and Growth Hydroponic Lettuce (*Lactuca Sativa* L. 'Crufia') According to Four Nutrient Solutions

Malca Soto, Flori

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Recibido 30 de abril 2013 – Aceptado el 28 de octubre de 2013

Resumen

El experimento se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima – Perú; 2009-2010), con el objetivo de determinar los efectos de la aplicación de cuatro soluciones nutritivas (150, 200, 250 y 300 mg N/L) sobre los parámetros: nitrato reductasa, materia fresca y seca, diámetro de cabeza, número de hojas y área foliar en dos sistemas hidropónicos: raíz flotante y usando arena. Se presentaron en las lechugas tratadas con 300 mg N/L, en raíz flotante y usando arena, los mayores efectos significativos en la nitrato reductasa (.2100 y .0640 $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$) respectivamente, materia seca en la cabeza de la lechuga (43.84 y 36.70 g/planta) respectivamente y área foliar de este cultivo (5357.07 y 3924.14 cm^2) respectivamente. En cambio, se encontraron en las lechugas tratadas con 250 y 300 mg N/L, los mayores efectos significativos de materia fresca en la cabeza de la lechuga (305.69 y 332.81 g/planta) respectivamente, diámetro de cabeza (27.32 y 30.02 cm) respectivamente y número de hojas (42 y 49) respectivamente en raíz flotante. También los resultados mostraron que las lechugas tratadas con 250 y 300 mg N/L en arena, tienen los mayores efectos significativos de materia fresca en la cabeza de la lechuga (284.15 y 303.48 g/planta) respectivamente, diámetro de cabeza (25.24 y 27.27 cm) respectivamente y número de hojas (35 y 40) respectivamente. Se concluyó que 300 mg N/L en ambos sistemas hidropónicos tuvo un mayor efecto directo significativo solamente sobre la nitrato reductasa, materia seca y área foliar.

Palabras Clave: Nitrato reductasa, sistemas hidropónicos, lechuga, soluciones nutritivas.

Abstract

The experiment was conducted at the Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima-Peru, 2009-2010), with the aim of determining the effects of the application of four nutrient solutions (150, 200, 250 and 300 mg N/L) on the parameters: nitrate reductase, fresh and dry matter, head diameter, number of leaves and leaf area two hydroponic systems: in floating root and sand. Were presented in lettuce treated with 300 mg N / L, using sand and floating root, the largest significant effects on nitrate reductase (.2100 and .0640 $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$ respectively), dry matter to the head of lettuce (43.84 and 36.70 g / plant) respectively, and leaf area of the crop (5357.07 and 3924.14 cm^2) respectively. On the other hand, were found in lettuce treated with 250 and 300 mg N / L, the highest significant effects on the head of lettuce fresh matter (305.69 and 332.81 g / plant) respectively, head diameter (27.32 and 30.02 cm) respectively and number of leaves (42 and 49) respectively in floating root. Also the results showed that the lettuce treated with 250 and 300 mg N / L in sand, have the highest significant effect of cool stuff at the head of lettuce (284.15 and 303.48 g / plant) respectively, head diameter (25.24 and 27.27 cm) respectively and number of leaves (35 and 40) respectively. It was concluded that 300 mg N / L in both hydroponic systems had increased only significant direct effect on nitrate reductase, dry matter and leaf area.

Keywords: Nitrate reductase, hydroponics systems, lettuce, nutrient solutions.

Correspondencia al autor

e-mail: finalcasoto@gmail.com

Introducción

El interés del autor por el estudio de la actividad de nitrato reductasa en las hojas y el crecimiento hidropónico de lechuga, se enmarcó dentro de la creciente tendencia mundial hacia la mejora del ambiente y a los principios que sustentan la ley de inocuidad de los alimentos dados por el gobierno peruano (D. L. N.º 1062-PCM-2008). La lechuga, es una especie hortícola ampliamente conocida y cultivada en casi todos los países del mundo, es muy promisoría para el Perú por su comportamiento, rentabilidad y su adaptabilidad a los sistemas hidropónicos. Por estos sistemas, el agricultor maneja el uso y aplicación de insumos agrícolas de la mejor forma, además disminuye el tiempo del ciclo de cultivo y permite ser parte de un manejo ambiental integral. Aún no existe en nuestro país la información básica que se necesita para determinar la relación entre las concentraciones de nitrógeno de la solución nutritiva, la actividad nitrato reductasa y en la producción de biomasa de lechuga que permitan la evaluación y manejo de la nutrición nitrogenada y cumplir con las buenas prácticas agrícolas. De lo expuesto se ha planteado como objetivo determinar los efectos de la aplicación de cuatro soluciones nutritivas sobre la actividad de nitrato reductasa en las hojas de lechuga 'Crufia' y los parámetros de crecimiento y desarrollo (producción de materia fresca y materia seca, diámetro de la cabeza, número de hojas y área foliar) en dos sistemas hidropónicos raíz flotante y usando arena como sustrato, previamente lavada y desinfectada.

Método

El experimento se realizó en el Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral (CIHNM), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en La Molina (Lima – Perú) de octubre de 2009 a enero de 2010.

Se realizó, este experimento, en dos sistemas hidropónicos: raíz flotante y usando arena como sustrato, previamente lavada y desinfectada.

Se determinó los efectos de la aplicación de 4 tratamientos (soluciones nutritivas preparadas con concentración de nitrógeno 150, 200, 250 y 300 mg/L), sobre los parámetros: (1) actividad de nitrato reductasa aplicándose el método de determinación *in vivo* de la actividad nitrato reductasa (Hageman & Reed, 1980) (2) producción de materia fresca y seca que se obtuvo pesando la cabeza y raíces de la lechuga, lue-

go secándolas en una estufa a 70°C, para obtener la materia seca correspondiente en g/planta (3) diámetro de cabeza, número de hojas y área foliar, midiéndose el diámetro mayor (cm) de la cabeza de lechuga con una cinta métrica de plástico, se contaron todas las hojas de cada lechuga y hallándose el área foliar (cm²) con la técnica del papel milimetrado. Para evaluar los resultados de los 4 tratamientos, se usó el Diseño Completo al Azar (DCA). Además se usaron 3 repeticiones por tratamiento y 1 unidad experimental de 5 plantas por repetición para cada sistema hidropónico estudiado, trabajados en forma independiente. Los análisis estadísticos se hicieron usando el programa PASW Statistics versión 18 y la prueba de Tukey se efectuó empleando el programa SAS versión ocho, ambos con probabilidad de 5 %.

Resultados

Efectos de los tratamientos sobre los parámetros en estudio en el sistema hidropónico raíz flotante

En la tabla 1 se muestran los resultados en el sistema raíz flotante, en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentaron las menores actividades de nitrato reductasa en sus hojas frescas .0125 y .0312 $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$, respectivamente, con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Tabla 1

Comparaciones de actividad nitrato reductasa en hojas de lechuga 'Crufia' por efecto de los tratamientos en el sistema raíz flotante.

Tratamientos N (mg/L)	Actividad nitrato reductasa ($\mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$)
T1	.0125 ± .0017
150	C
T2	.0312 ± .0016
200	C
T3	.0894 ± .0005*
250	B
T4	.2100 ± .0009*
300	A

*Significativo al .05

Además, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva preparada con concentración de nitrógeno 250 mg/L presentaron valores mayores en la actividad de nitrato reductasa en sus hojas frescas (.0894 μmol

$\text{NO}_2^-/\text{g/h}$) con diferencias significativas respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L, sin embargo, mostró valores menores con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva, con concentración de nitrógeno 300 mg/L. Mientras que en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva, con concentración de nitrógeno 300 mg/L, tuvo la más alta actividad de nitrato reductasa ($.2100 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$) con diferencias significativas respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150, 200 y 250 mg/L.

Asimismo, estos resultados tienden a ser inferiores a los obtenidos por Valverde et al. (2009), en donde se determinó baja actividad de esta enzima en 'Crufia' y alta en 'Head Premium', siendo la más baja en las que se cultivan en las condiciones azul neto ($.52\text{-}67 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$), y la mayor se encontró en el entorno protegido por la red de aluminio ($.54\text{-}1,15 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$).

En la tabla 2 se muestra que los resultados del cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentaron las menores producciones de materia fresca en: (1) cabeza 197.36 y 235.65 g/planta, respectivamente y en (2) raíces 17.69 y 21.28 g/planta, respectivamente, con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L. En cambio, en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L, se observaron las mayores producciones de materia fresca en: (1) cabeza 305.69 y 332.81 g/planta, respectivamente y en (2) raíces 28.30 y 31.34 g/planta, respectivamente, con diferencias significativas en relación al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L.

Estos resultados son aceptables como calibre comercial de las cabezas de lechugas tipo mantecosa (Wien, 1997), y tienden a ser superiores al obtenido por Coronel et al. (2009), en donde los valores de materia fresca de lechuga fluctuaron entre 120 y 246 g/planta y se observó que 'Loreto' presentó una menor materia fresca (120 g/planta) en relación al 'Esmeralda' (157 g/planta).

Los mayores rendimientos se obtuvieron en el sistema hidropónico NFT a fines de invierno (entre 157-246 g/planta).

Tabla 2
Comparaciones de la producción de materia fresca por efecto de los tratamientos en el sistema raíz flotante.

Tratamientos N (mg/L)	Materia fresca (g / planta)	
	Cabeza	Raíces
T1	197.36 ± 16.84	17.69 ± 1.53
150	B	B
T2	235.65 ± 17.15	21.28 ± 1.35
200	B	B
T3	305.69 ± 8.71*	28.30 ± 5.29*
250	A	A
T4	332.81 ± 2.40*	31.34 ± 0.43*
300	A	A

*Significativo al .05

También, estos resultados de cabeza de lechuga tienden a ser superiores a los estudios realizados por Lastra et al. (2009), donde el mayor rendimiento de materia fresca se encontró en las plantas de lechuga tipo mantecosa, 'Prima' (<165 g/planta) y los rendimientos más bajos se encontró en 'Brisa' (<85 g/planta). Sin embargo, estos resultados de cabeza de lechuga tienden a ser inferiores a los estudios realizados por Valverde et al. (2009), donde el mayor rendimiento de materia fresca en 'Fanfarria' (375.50 g/planta).

También, estos resultados de cabeza de lechuga tienden a ser inferiores a los estudios realizados por Barrera (2002), en donde se encontró una materia fresca de: 183 g/planta (escarola verde), 357 g/planta (escarola morada) y 427 g/planta (romana). Asimismo, estos resultados en cabeza de lechuga tienden a ser inferiores a los estudios realizados por Barrera (2004), mostrando que 'Suprema' tuvo el más alto rendimiento de materia fresca (578.60 g/planta); le siguió 'Salinas' (395.08 g/planta) luego 'Romana' (281.88 g/planta); continuó 'Escarola morada' (183.60 g/planta) y por último 'Escarola verde' (105.83 g/planta).

En la tabla 3 se muestran los resultados, en el cultivo de lechuga tratado con soluciones nutritivas a concentraciones de nitrógeno 150 mg/L y 200 mg/L presentaron las menores producciones de materia seca en: (1) cabeza 9.45 y 13.17 g/planta, respectivamente y en (2) raíces 1.52 y 2.29 g/planta, respectivamente, con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Asimismo, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 250 mg/L presentó las mayores producciones de materia seca en: (1) cabeza 29.99 g/ planta y en (2) raíces 4.45 g/planta, con diferencias significativas en relación al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L pero menor valor tiene diferencias significativas con referencia al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L.

En contraste, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L, mostró la mayor producción de materia seca en: (1) cabeza 43.84 g/ planta y en (2) raíces 6.57 g/planta con diferencias significativas en comparación al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150, 200 y 250 mg/L.

Tabla 3
Comparaciones de la producción de materia seca por efecto de los tratamientos en el sistema raíz flotante.

Tratamientos N (mg/L)	Materia seca (g / planta)	
	Cabeza	Raíces
T1	9.45 ± 0.78	1.52 ± 0.40
150	C	C
T2	13.17 ± 4.17	2.29 ± 0.28
200	C	C
T3	29.99 ± 4.17*	4.45 ± 0.78*
250	B	B
T4	43.84 ± 3.52*	6.57 ± 0.52*
300	A	A

*Significativo al .05

Estos resultados de cabeza de lechuga tienden a ser superiores a los estudios realizados por Lastra et al. (2009). En dicho estudio, el mayor rendimiento se encontró en las plantas de lechuga tipo mantecosa, con el mayor peso seco obtenido en el 'Prima' (<10 g /planta) y los rendimientos más bajos se encuentra en el cultivar 'Brisa' (<6 g /planta). También, estos resultados en cabeza de lechuga tienden a ser superiores, a los estudios realizados por Barrera (2004) mostrando que 'Suprema' tuvo el más alto rendimiento de materia seca (15.09 g/planta); luego le siguió 'Romana' (14.38 g/ planta); 'Salinas' (11.67 g/planta); continuó 'Escarola morada' (9.54 g/planta) y por último 'Escarola verde' (5.25 g/planta).

En la tabla 4 se muestra los resultados. El sistema hidropónico, donde el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentaron los menores diámetros de cabeza: 17.22 y 20.50 cm respectivamente con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Mientras que en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L, muestran los mayores diámetros de cabeza: 27.32 y 30.02 cm respectivamente con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L.

En la tabla 5 se muestra los resultados, en este sistema hidropónico las lechugas cultivadas en la solución nutritiva con concentración de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentaron los menores números de hojas por planta: 19 y 23 respectivamente con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L. En contraste, en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L presentaron los máximos números de hojas por planta: 42 y 49 respectivamente con diferencias significativas en relación al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L.

Asimismo, los resultados del número de hojas por planta tienden a ser superiores a los estudios realizados por Lastra et al. (2009). En dicho estudio, del cultivar 'Grand Rapids,' el número de hojas por planta fue de 17 a 20, siendo estos valores similares a los reportados por Knight & Mitchell (1983), pero superior a los reportados por Merlet (1997).

En la tabla 6 se muestra que en el sistema hidropónico, el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentaron las menores áreas foliares: 832.00 y 1170.17 cm² respectivamente con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Adicionalmente, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 250 mg/L en el sistema hidropónico raíz flotante se

mostró mayor área foliar (4132.02 cm²) con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L, sin embargo, se presentó menor valor con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L.

Tabla 4
Comparaciones de diámetro de cabeza de lechuga 'Cruña' por efecto de los tratamientos en el sistema raíz flotante.

Tratamientos N (mg/L)	Diámetro de cabeza de lechuga (cm)
T1	17,22 ± 0,84
150	B
T2	20,50 ± 1,65
200	B
T3	27,32 ± 0,50*
250	A
T4	30,02 ± 0,15*
300	A

*Significativo al .05

Tabla 5
Comparaciones de número de hojas por planta de lechuga 'Cruña' por efecto de los tratamientos en el sistema raíz flotante.

Tratamientos N (mg/L)	Número de hojas/planta
T1	19 ± 1
150	B
T2	23 ± 3
200	B
T3	42 ± 2*
250	A
T4	49 ± 0*
300	A

*Significativo al .05

Por otro lado, se observa en este sistema hidropónico, que 300 mg/L, presentó el valor de área foliar (5357.07 cm²) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150, 200 y 250 mg/L.

Efectos de los tratamientos sobre los parámetros en estudio en el sistema hidropónico utilizando arena como sustrato.

En la tabla 7 se muestran los resultados en el sistema hidropónico, donde menores actividades nitrato reductasa se encontraron en hojas frescas de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 mg/L (.0072 $\mu\text{molNO}_2^-/\text{g/h}$) y 200 mg/L (.0163 $\mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 200, 250 y 300 mg/L .

Además, el cultivo de lechuga (en hojas frescas) tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 250 mg/L presentó mayor actividad nitrato reductasa (.0640 $\mu\text{molNO}_2^-/\text{g/h}$) con diferencias significativas en referencia al tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L.

Sin embargo, en hojas frescas de este cultivo tratado en solución nutritiva con esta concentración mostró menor actividad de esta enzima con diferencias significativas, en comparación al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L.

Mientras que en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L, se encontró en hojas frescas de este cultivo la más alta actividad de nitrato reductasa (.0939 $\mu\text{molNO}_2^-/\text{g/h}$) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150, 200 y 250 mg/L.

Tabla 6
Comparaciones de área foliar de lechuga 'Cruña' por efecto de los tratamientos en el sistema raíz flotante.

Tratamientos N (mg/L)	Área foliar (cm ²)
T1	832,00 ± 45,62
150	C
T2	1170,17 ± 383,45
200	C
T3	4132,02 ± 269,99*
250	B
T4	5357,07 ± 203,26*
300	A

*Significativo al .05

Tabla 7

Comparaciones de la actividad nitrato reductasa de las hojas frescas de lechuga por efecto de los tratamientos en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato.

Tratamientos N (mg/L)	Actividad nitrato reductasa ($\mu\text{mol NO}_2^-/\text{g / h}$)
T1	0,0072 \pm 0,0012
150	C
T2	0,0163 \pm 0,0028
200	C
T3	0,0640 \pm 0,0008 *
250	B
T4	0,0939 \pm 0,0004 *
300	A

*Significativo al .05

Asimismo, los resultados de este sistema hidropónico tienden a ser superiores a los observados por Raigón et al. (2006), donde estas concentraciones fueron de promedio menores a $.06 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$ en hojas de lechugas romanas ecológicas, pero son inferiores a los obtenidos por un estudio realizado por Hoyos (2000), en lechuga 'White Boston' (criolla, tipo mantecosa) que se observó una tendencia a incrementarse debido a la aplicación de materia orgánica (*Azolla* sp.: $1.649 \mu\text{molNO}_2^-/\text{g/h}$) y al tratamiento químico (solución nutritiva: $1.663 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$), en cambio, la aplicación de humus de lombriz fue el tratamiento que promovió una mayor actividad de la enzima nitrato reductasa ($1.077 \mu\text{mol NO}_2^-/\text{g/h}$).

En la tabla 8 se observa que el sistema hidropónico usando como sustrato arena, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 150 mg/L presentó la menor producción de materia fresca en: (1) cabeza 175.86 g/planta y en (2) raíces 15.58 g/planta con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 200, 250 y 300 mg/L. Además, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 200 mg/L se observó valores mayores de producción de materia fresca: (1) en cabeza 217.78 g/planta y en (2) raíces 19.68 g/planta, con diferencias significativas en relación al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 150 mg/L, pero menor valor con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

En cambio, en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L, se observaron las mayores producciones de materia fresca en: (1) cabeza 284.15 y 303.48 g/planta, respectivamente y en (2) raíces 26.38 y 28.29 g/planta, respectivamente con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L.

Tabla 8

Comparaciones de la producción de materia fresca por efecto de los tratamientos en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato.

Tratamientos N (mg/L)	Materia fresca (g / planta)	
	Cabeza	Raíces
T1	175,86 \pm 11,39	15,58 \pm 1,17
150	C	C
T2	217,78 \pm 29,59	19,68 \pm 3,04
200	B	B
T3	284,15 \pm 7,93*	26,38 \pm 0,78*
250	A	A
T4	303,48 \pm 2,18*	28,29 \pm 0,21*
300	A	A

*Significativo al .05

Asimismo, los resultados de este sistema hidropónico tienden a ser superiores a los que se observaron en el estudio realizado por Hoyos (2000), en lechuga cultivar 'White Boston' (criolla, tipo mantecosa), donde se apreció valores que fluctuaron entre 78.20-168.88 g materia fresca en cabeza de lechuga entre los tratamientos que fueron aplicados a un sustrato (tierra - arena 1:1), donde se logró un incremento máximo significativo con la incorporación de *Azolla* sp., en sus dos niveles, en comparación con los otros tratamientos.

Además, estos resultados de materia fresca de cabeza de lechuga tienden a ser inferiores a los estudios realizados por INIA. (Las Brujas, citado por Galván et al. 2008), donde la lechuga mantecosa cultivar 'Dolly', la materia fresca de cabeza de esta lechuga, fue mayor en 500 g en la cosecha (78 días después de siembra). En la tabla 9 se observa que en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 150 mg/L presentó la menor producción de materia seca en raíces (.79 g/planta) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 200, 250 y 300 mg/L.

Tabla 9
Comparaciones de la producción de materia seca por efecto de los tratamientos en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato.

Tratamientos N (mg/L)	Materia seca (g / planta)	
	Cabeza	Raíces
T1	8,25 ± 0,86	0,79 ± 0,26
150	C	C
T2	11,75 ± 3,75	2,07 ± 0,42
200	C	C
T3	27,32 ± 3,51*	3,74 ± 1,04*
250	B	B
T4	36,70 ± 1,56*	5,42 ± 0,22*
300	A	A

*Significativo al .05

Además, en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 mg/L y 200 mg/L, se observaron las menores producciones de materia seca en cabeza de lechuga (8.25 y 11.75 g/planta respectivamente) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Asimismo, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 200 mg/L presentó la mayor producción de materia seca en raíces (2.07 g/planta) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 150 mg/L pero menores con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

En cambio, en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentración de nitrógeno 250 mg/L, se observó las mayores producciones de materia seca en: (1) cabeza 27.32 g/planta y en (2) raíces 3.74 g/planta, con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L, pero con menores valores con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 300 mg/L.

En el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentración de nitrógeno 300 mg/L, se observaron las mayores producciones de materia seca en: (1) cabeza 36.70 g/planta y en (2) raíces 5.42 g/planta con diferencias significativas frente al cultivo de lechu-

ga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150, 200 y 250 mg/L.

Asimismo, los resultados de este sistema hidropónico tienden a ser superiores a los que se observaron en un estudio realizado por Hoyos (2000), en lechuga cultivar 'White Boston' (criolla, tipo mantecosa), donde se apreció valores que fluctuaron entre 8.40-12.62 g de materia seca entre los tratamientos que fueron aplicados a un sustrato (tierra - arena 1:1), donde se logró un incremento máximo significativo con la incorporación de *Azolla* sp., en sus dos niveles, en comparación con los otros tratamientos.

Además, los resultados de materia seca en cabeza de lechuga tienden a ser superiores a los estudios adaptados por Mallar, (citado por Galván et al., 2008).

En dicho estudio en lechuga cultivar 'Saint Antoine' la materia seca de esta lechuga fue 10.20 g a los 65 días de edad de la planta antes del muestreo.

En la tabla 10 se observa que en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato, el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentó los menores diámetros de cabeza: 17.60 y 20.24 cm, respectivamente con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Mientras que en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L, muestran los mayores diámetros de cabeza: 25.24 y 27.27 cm, respectivamente; con diferencias significativas con referencia al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L.

Estos resultados tienden a ser superiores a los encontrados en los estudios realizados por Hoyos (2000), donde el diámetro de cabeza de lechuga fluctúa entre 23.16-27.72 cm y se logró el máximo diámetro significativo de cabeza de lechuga con la incorporación de *Azolla* sp., en sus dos niveles, en comparación con los otros tratamientos. Además, estos resultados de diámetro de cabeza de lechuga tienden a ser superiores, a los estudios mostrados por Galván et al. (2008), donde el diámetro máximo de esta lechuga fue de 20 cm cuando este cultivo tenía 12 hojas/planta.

En la tabla 11 se observa que en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato, el cultivo de lechuga

tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentó los menores números de hojas: 19 y 22 respectivamente, con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Tabla 10
Comparaciones de diámetro de cabeza de lechuga 'Cruflia' por efecto de los tratamientos en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato.

Tratamientos N (mg/L)	Diámetro de cabeza de lechuga (cm)
T1	17,60 ± 0,92
150	B
T2	20,24 ± 1,54
200	B
T3	25,24 ± 0,82*
250	A
T4	27,27 ± 0,20*
300	A

*Significativo al .05

Mientras que en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L, mostraron los mayores números de hojas: 35 y 40 respectivamente; con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L. Asimismo, los resultados del número de hojas por planta tienden a ser inferiores a los estudios realizados por INIA (Las Brujas, citado por Galván et al. 2008), donde la lechuga mantecosa cultivar 'Dolly' el número de hojas por planta fue de 45 hojas a los 78 días después de siembra. También, estos resultados tienden a ser inferiores a los estudios adaptado por Mallar (citado por Galván et al. 2008). En dicho estudio en lechuga cultivar 'Saint Antoine' el número de hojas por planta de esta lechuga fue 48 a los 65 días de edad de la planta antes de muestreo.

En la tabla 12 se observa que en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato, el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L presentaron las menores áreas foliares (792.80 y 1055.17 cm² respectivamente) con diferencias significativas frente al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 250 y 300 mg/L.

Tabla 11
Comparaciones de número de hojas por planta de lechuga 'Cruflia' por efecto de los tratamientos en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato.

Tratamientos N (mg/L)	Número de hojas/planta
T1	19 ± 1
150	B
T2	22 ± 3
200	B
T3	35 ± 2*
250	A
T4	40 ± 1*
300	A

*Significativo al .05

Tabla 12
Comparaciones de área foliar de lechuga 'Cruflia' por efecto de los tratamientos en el sistema hidropónico, usando arena como sustrato.

Tratamientos N (mg/L)	Área foliar (cm ²)
T1	792,80 ± 38,75
150	C
T2	1055,17 ± 266,88
200	C
T3	3092,99 ± 378,60*
250	B
T4	3924,14 ± 96,96*
300	A

*Significativo al .05

Además, en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 250 mg/L presentó mayor área foliar (3092.99 cm²) con diferencias significativas con respecto en el cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150 y 200 mg/L, sin embargo, mostró valores menores significativos frente al cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L.

Mientras que en el cultivo de lechuga tratado en solución nutritiva con concentración de nitrógeno 300 mg/L, mostró la mayor área foliar (3924.14 cm²) con diferencias significativas con respecto al cultivo de lechuga tratado en soluciones nutritivas con concentraciones de nitrógeno 150, 200 y 250 mg/L.

Conclusión

La concentración de nitrógeno 300 mg/L, en ambos sistemas hidropónicos, tuvo un mayor efecto directo significativo solamente sobre la actividad nitrato reductasa, materia seca y área foliar, así se puede decir que esta concentración es un factor inductor sobre estas características, teniendo en cuenta las condiciones y limitaciones tecnológicas del experimento de esta investigación.

La concentración de nitrógeno en las soluciones nutritivas de los sistemas hidropónicos estudiados, según las condiciones del experimento, es un factor inductor muy importante en la acumulación de nitrato y nitrito en las hojas, en el crecimiento y desarrollo de la lechuga,

lo que permite recomendar no usar mayores concentraciones de nitrógeno que las del estudio, para prevenir la excesiva acumulación de nitrato y nitrito en las hojas, permitiendo así un mejor crecimiento y desarrollo de lechuga y cumplir con las buenas prácticas agrícolas, de inocuidad, seguridad alimentarias y ser parte de un mejor manejo ambiental integral.

Agradecimientos

Se agradece al Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, de la Facultad de Ciencias y al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por financiar parte de esta investigación.

REFERENCIAS

- Barrera G., D. E. (2002). *Diseño e implementación de la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT)*. Informe general de servicios EPSA. Facultad de agronomía, USAC. Guatemala. 100 p.
- Barrera G., D. E. (2004). *Evaluación de cinco variedades de lechuga Lactuca sativa L. cultivadas con la técnica hidropónica solución nutritiva recirculante (NFT)*. Tesis ing. Agr. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Guatemala. 70p.
- Coronel, G., Chang, M., Rodríguez D. A. (2009). *Nitrate reductase activity and chlorophyll content in lettuce plants grown hydroponically and organically*. Acta hort. (ishs). 843:137-144. Available at: http://www.actahort.org/books/843/843_16.htm. It accessed on april 26th, 2008.
- D. L. N.º 1062-pcm-2008. *Ley de inocuidad de los alimentos*. El peruano normas legales. Lima Perú. 28 de junio del 2008. 13 p.
- Galván G., García M., & Rodríguez J. (2008). *Curso de horticultura*. Facultad de Agronomía. Uruguay. 43 p.
- Hageman R. H., & Redd A. T. (1980). Nitrate reductase from higher plants. *Meth. Enzymol.* 69:270-280.
- Hoyos R. M. (2000). *Efecto de la azolla, del compost y del humus de lombriz en los cultivos de tomate y lechuga*. Manejo ecológico de suelos. Lima - Perú. P. 67-75.
- Knight, S., & Mitchell, C. (1983). Mejora del rendimiento de la lechuga por la manipulación de la luz y la nutrición de nitrógeno. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 750-754. [Links] Sci. 108:750-754.
- Lastra O., Tapia, M. L., Razeto B., & Rojas M. (2009). *Response of hydroponic lettuce cultivars to different treatments of nitrogen: growth and foliar nitrate content*. Idesia. Arica. Chile. April (27):1 p. 83-89. Available at: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s071834292009000100010&lng=es&nrm=iso. Accessed on april 26th, 2008.
- Merlet, A. (1997). *Efecto de sombreado en el desarrollo, crecimiento y calidad organoléptica de lechuga (Lactuca sativa L. Var. Acephala) cv. Grand Rapids*; Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile: Santiago, Chile, Tesis ing. Agr., Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 75 p.
- Raigón M. D., García M. M. D., Guerrero C., & Esteve P. (2006). *Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga*. Trabajo final de carrera. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología. Universidad politécnica de Valencia. En resúmenes viii congreso seae Zaragoza - España. (157) 11pp.
- Valverde K., Chang M., & Rodríguez D. A. (2009). *Effect of the light quality on the nitrate reductase activity in lettuce plants grown in NFT*. Acta hort. (ishs: international symposium on soilless culture and hydroponics). 843:89-96 available at: http://www.actahort.org/books/843/843_9.htm. Accessed on april 26th, 2008.
- Wien, H. C. (1997). Lettuce. En: Wien H.C. (ed.). *The physiology of vegetable crops*. Cab international. London. P. 479-509