

Artículo original

Respuestas fisiológicas de *Raphanus sativus* L. frente a tres concentraciones de Mg^{+2}
Physiological responses of *Raphanus sativus* L. to three concentrations of Mg^{+2}

⁽¹⁾Henri Bailón; ⁽²⁾Irma Castillo; ⁽³⁾Miriam Pablo; ⁽⁴⁾Yeny Topiño; ⁽⁵⁾Mónica Velásquez & ⁽⁶⁾Rafael La Rosa

Laboratorio de Ecofisiología Vegetal. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad Nacional Federico Villarreal. Calle San Marcos 351 Pueblo Libre, Lima 21. TeleFax 4600930

⁽¹⁾araguis11@yahoo.es, ⁽²⁾hellen_brugmansia@yahoo.com, ⁽³⁾miriamppr@yahoo.es, ⁽⁴⁾yeny_thais2004@yahoo.es, ⁽⁵⁾monika_bio2002@yahoo.com, ⁽⁶⁾rafolarosa@yahoo.es.

ABSTRACT

Magnesium is main component of chlorophyll and is involved in many important reactions for plants. Effects of three levels of magnesium in hydroponics culture of *Raphanus sativus* L. var Grimson Giant (Brassicaceae) were analyzed. Three treatments were used: T1 (0,214 g·L⁻¹; 50% Mg^{+2}), T2 (0,429 g·L⁻¹; 100% Mg^{+2}) and T3 (0,214 g·L⁻¹; 200% Mg^{+2}) with 16 repetitions, in order to observe changes in photosynthesis, growth, protein concentration, and carbohydrates. Results shown significant differences in chlorophyll, foliar area and foliage length; nevertheless, protein concentration, percentage of dry matter of roots and stems not showed significant difference. We concluded that as excess as deficiency are detrimental for growing of plant.

Key words: hydroponics, magnesium, *Raphanus sativus*.

RESUMEN

El magnesio es el componente principal de la clorofila y participa en muchas reacciones vitales para la planta. Se analizaron los efectos de diferentes niveles de magnesio en cultivos hidropónicos de *Raphanus sativus* L var. Grimson Giant (Brassicaceae). Se utilizaron tres tratamientos: T1 (50% Mg^{+2}), T2 (100% Mg^{+2}) y T3 (200% Mg^{+2}) con 16 repeticiones, con el fin de observar cambios producidos en la fotosíntesis, crecimiento, concentración de proteínas y carbohidratos. Los resultados mostraron diferencias significativas en: clorofila, área foliar y longitud aérea. Sin embargo, la concentración de proteínas, porcentaje de materia seca tanto de la raíz como de la parte aérea no presentaron diferencias significativas. Se concluye que tanto el exceso como la deficiencia de magnesio son perjudiciales para el buen desarrollo de la planta.

Palabras claves: *Raphanus sativus* L var. Grimson Giant, magnesio, hidropónico.

INTRODUCCIÓN

Raphanus sativus L. (Brassicaceae), es una planta oriunda del Asia que crece en zonas tropicales y subtropicales, se cultiva todo el año, y se consume generalmente el hipocótilo, que contiene hidratos de carbono y fibras, con un bajo aporte calórico y alto contenido de agua. Los minerales más abundantes en su composición son el potasio y el yodo que aparece en mayor cantidad que en las demás hortalizas. Además contiene cantidades significativas de calcio y fósforo (Zarraga, 2005).

El magnesio es esencial en la nutrición de las plantas, permite la asimilación de otros nutrientes, se combina con el ATP (permitiendo que participe en muchas reacciones) y activa muchas enzimas necesarias para la fotosíntesis, respiración, síntesis de carbohidratos, formación de grasas y aceites, formación de ADN y ARN (Agarwala & Mehrotra, 1984; Fink *et al.*, 2000; Pedler *et al.*, 2004; Saiki *et al.*, 2004).

La deficiencia de magnesio se manifiesta por la pérdida del color verde, que comienza en las hojas maduras y continúa hacia las inmaduras, pero las venas conservan su color, los tallos se forman débiles y las raíces se ramifican y se alargan excesivamente, las hojas se tuercen a lo largo de los bordes. El exceso de magnesio puede inducir la carencia de potasio. La asimilación de algunos elementos químicos, es afectada por la presencia de otros, esto se conoce como antagonismo (Agarwala & Mehrotra, 1984); así el exceso de calcio puede interferir la asimilación de magnesio, el exceso de sodio produce deficiencia de calcio y magnesio (Morales, 2005).

El objetivo del presente trabajo fue conocer las respuestas de *R. sativus* L. var. Grimson Giant frente a tres concentraciones de magnesio en cultivos hidropónicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del invernadero hidropónico y del Laboratorio de Ecofisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Se emplearon tres soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de magnesio: T1 (Mg/2), T2 (Mg) y T3 (2 Mg) (Tabla 1).

Se emplearon 48 recipientes de plástico de 1 L de capacidad, llenados con sustrato de arena fina en sus $\frac{3}{4}$ partes, previamente lavada y desinfectada con hipoclorito de sodio (5 %). Se dejó reposar por 3-4 días y fueron lavadas nuevamente hasta eliminar el desinfectante.

Para la siembra se utilizaron 10 semillas de *R. sativus* L. var. Crimson Giant “rabanito” por cada envase que fueron regados con agua potable interdiariamente por una semana.

Después del período de germinación, fueron elegidas tres plántulas de cada envase por sus características en tamaño, color y vigor, y se descartaron las plántulas restantes. Se aplicó un diseño completamente randomizado, los resultados se procesaron mediante ANVA y la prueba de Tukey (SPSS versión 12,0), con tres tratamientos y 16 repeticiones cada uno; los cuales fueron regados con solución nutritiva (30 mL) alternando con agua potable durante 34 días. Se midió el pH y conductividad eléctrica de cada solución nutritiva preparada (Tabla 2). Las principales condiciones de temperatura, Humedad relativa e irradiación del ensayo se realizaron con una frecuencia de 7 días y siempre alrededor de las 10:00 h (Tabla 3). Para determinar el efecto del magnesio se realizaron análisis semanales utilizando los siguientes seis parámetros:

Porcentaje materia seca (actividad fotosintética)

Para el análisis se tomó un envase de cada tratamiento, seleccionándose en dos fracciones parte aérea (hojas e hipocotilo) y raíz, y se determinó el peso fresco en una balanza analítica. Luego se colocó en una estufa a 70° C por cinco días, al término de las cuales se volvió a pesar.

Longitud de la planta

Se midió la longitud de la parte aérea y de la raíz en cm.

Determinación del área foliar

Se trazó el borde de las hojas en papel milimetrado y se calculó el área en cm².

Determinación de clorofila

Se pesó 1g de hojas de cada tratamiento, para obtener una pulpa fina homogenizando con acetona en un mortero, se filtró y enrasó a 10 mL en una probeta, luego se extrajo 1 mL de la solución para nuevamente diluirlo en 9 mL de acetona. Se

Tabla 1. Soluciones nutritivas empleadas en la evaluaciones de *Raphanus sativus*.

NUTRIENTES	T1 (g·L ⁻¹) (Mg/2)	T2 (g·L ⁻¹) (Mg)	T3 (g·L ⁻¹) (2 Mg)
Macronutrientes			
Nitrato de calcio	0,256	0,256	0,256
Nitrato de potasio	0,616	0,616	0,616
Sulfato de magnesio	0,214	0,429	0,858
Fosfato monoamónico	0,231	0,231	0,231
Sulfato de potasio	0,171	0,171	0,171
Micronutrientes			
Ácido bórico	1,24	1,24	1,24
Sulfato de cobre	0,27	0,27	0,27
Sulfato de zinc	0,25	0,25	0,25
Molibdato de amonio	0,03	0,03	0,03
Sulfato de hierro	7,1	7,1	7,1
Sulfato de manganeso	0,73	0,73	0,73

Tabla 2. Valores de pH y Conductividad eléctrica (CE) de las soluciones empleadas en el riego.

TRATAMIENTO	24/11/05		05/12/05		14/12/05	
	pH	CE mmohs	pH	CE mmohs	pH	CE mmohs
T1 (Mg/2)	6,9	0,9	5,5	1,5	5,8	1,6
T2 (Mg)	5,6	2,2	5,7	2,8	5,6	2,6
T3 (2Mg)	5,9	0,2	5,8	1,8	6,0	1,9

Tabla 3. Condiciones climáticas de temperatura, Humedad relativa e irradiación semanales a las que se realizaron las evaluaciones en *Raphanus sativus*.

T° HOJA (°C)	T° AIRE (°C)	HR (%)	IRRADIACIÓN (lx)
22	24,9	56	45645
20,6	22	55	53700
24,6	27,5	59	56385
22	23,4	72	24165

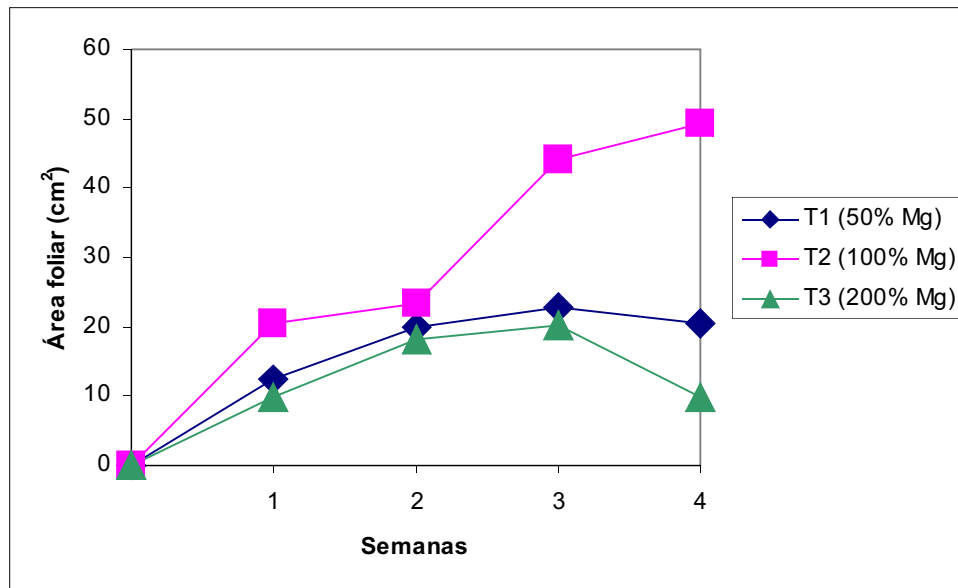


Figura 1. Área foliar versus tiempo en *Raphanus sativus* a tres concentraciones de magnesio.

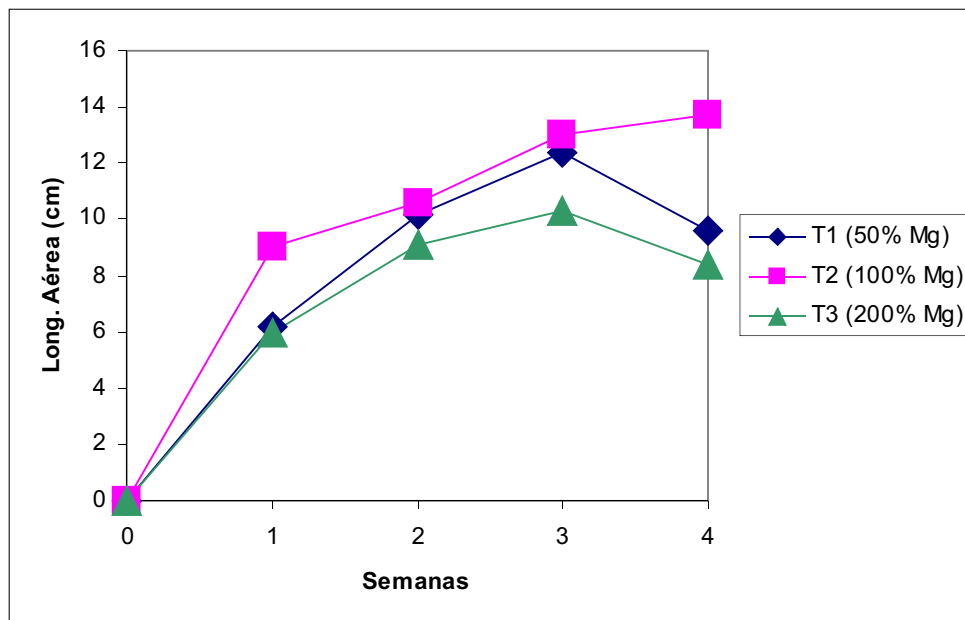


Figura 2. Longitud aérea versus tiempo en *Raphanus sativus* a tres concentraciones de magnesio.

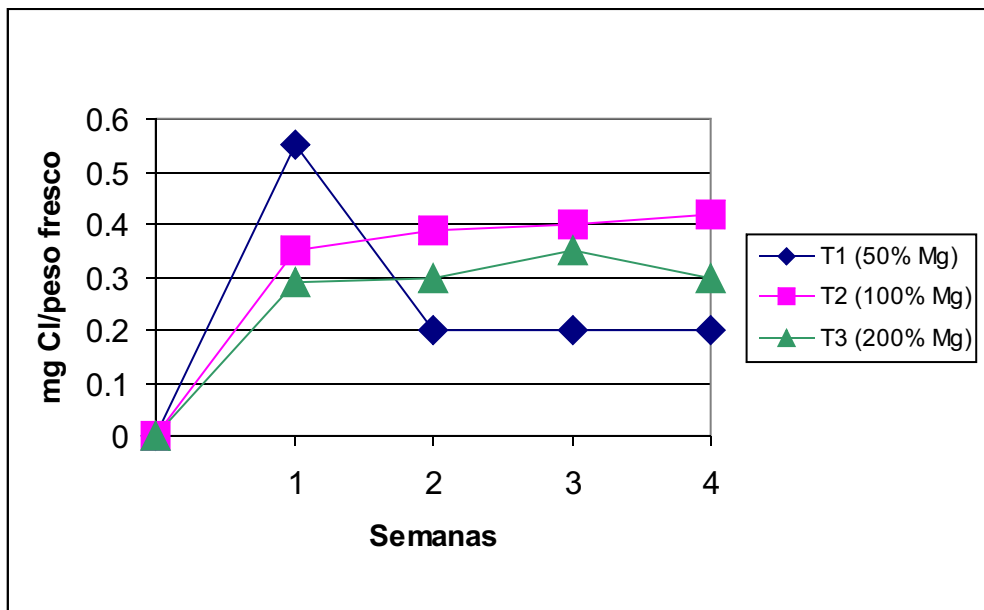


Figura 3. Clorofila total versus tiempo en *Raphanus sativus* a tres concentraciones de magnesio.



Figura 4. Comparación de hipocotilos en *Raphanus sativus* de los tres tratamientos (T1, T2, T3) en la última evaluación.

midió la absorbancia de esta solución a longitudes de onda de 645 y 663 nm.

Determinación de proteínas

Se pesó 5 g de hojas por cada tratamiento que fueron homogenizados con suero fisiológico, filtrándose hasta llegar a un volumen de 10 mL. Se centrifugó a 4000 rpm por 40' (4 veces). Se tomó 1 mL del sobrenadante y se llevó a 5mL con el reactivo de Biuret. Además, se construyó una curva de calibración para determinar la concentración de proteínas, utilizando un stock de ovoalbúmina (1%). La lectura de absorbancia fue a 540 nm.

Determinación de carbohidratos

En la última evaluación, se extrajeron los hipocótilos de cada tratamiento, se trituró en un mortero con ácido sulfúrico (H_2SO_4) y fenol al 5%, y luego el filtrado se diluyó en 1: 6. La lectura de absorbancia fue a 490 nm. Se construyó una curva de calibración utilizando soluciones con diferentes concentraciones de glucosa, para determinar la concentración de carbohidratos.

Las plantas de los diferentes tratamientos fueron fotografiadas con la cámara digital Olympus D-545 ZOOM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área foliar

Se calculó los promedios del área foliar del T1 ($X=18,88 \pm 6,58 \text{ cm}^2$), T2 ($X= 34,38 \pm 15,23 \text{ cm}^2$) y T3 ($X=14,52 \pm 7,33 \text{ cm}^2$); según el análisis de varianza (ANVA) mostró diferencias significativas ($F=11,91$, $gl_1=2$, $gl_2=33$, $\alpha=0,05$). Los valores de la prueba de Tukey se muestran a continuación

Tratamientos	Medias	Subconjuntos homogéneos
T1	18,88	A
T2	34,38	B
T3	14,52	A

Los tratamiento T3 (2 Mg) y T1 (Mg/2) presentaron medias similares a comparación del

tratamiento T2 (Mg) que obtuvo el mayor promedio. Tanto la deficiencia y el exceso de magnesio reduce el área foliar, que esta relacionado con la capacidad fotosintética. Además el exceso de magnesio produce deficiencia de potasio, el cual interviene en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos en las plantas (Bidwell, 1990)(Fig. 1).

Longitud de la parte aérea:

Se calculó el promedio de la longitud de la parte aérea para cada tratamiento T1 ($X=9,58 \pm 2,48 \text{ cm}$), T2 ($X= 11,57 \pm 2,11 \text{ cm}$) y T3 ($X=8,44 \pm 2,46 \text{ cm}$) mostraron una diferencia significativa ($F=6,55$; $gl_1=2$, $gl_2=33$, $\alpha=0,05$), y por la prueba de Tukey se obtuvieron los siguientes resultados:

Tratamientos	Medias	Subconjuntos homogéneos
T1	9,58	AB*
T2	11,57	B
T3	8,44	A

Los tratamientos T2 (100 % Mg^{+2}) y T3 (200% Mg^{+2}) presentan medias diferentes. Sin embargo, T1 (50% Mg^{+2}) presenta medias similares a T2 y T3. En este caso el exceso de magnesio fue el que afectó principalmente el crecimiento de la parte aérea. El exceso de magnesio disminuye la concentración de potasio (Morales, 2005), lo que produce estrés generando una reducción del crecimiento vegetativo de las plantas, sobre todo la porción aérea, quizá debido a un incremento de la síntesis del ácido abscísico y un descenso del contenido de citoquininas (Azcon-Bieto & Talon, 1996). Esto se manifiesta por la reducción del crecimiento caulinar, el debilitamiento del tallo y la baja resistencia a patógenos (Bidwell, 1990) (Fig. 2).

Concentración de clorofila

Los promedios de la concentración de clorofila total para los tratamientos fueron: T1 ($X=0,11 \pm 0,13 \text{ mg Cl/g peso fresco}$), T2 ($X= 0,16 \pm 0,03 \text{ mg Cl/g peso fresco}$) y T3 ($X=0,13 \pm 0,28 \text{ mg Cl/g peso fresco}$) cuyo resultado mostró una diferencia significativa ($F=0,41$; $gl_1=2$, $gl_2=9$, $\alpha=0,05$); por la prueba de Tukey se obtuvieron los siguientes valores:

Tratamiento	Medias (mg Cl/g peso fresco)	Subconjuntos homogéneos
T1	0,11	A
T2	0,16	B
T3	0,13	AB*

Se observó que el tratamiento T2 y T3 presenta una mayor concentración de clorofila, ya que el magnesio es un componente esencial para la formación de este pigmento. (Fernández & García, 1982), y su deficiencia afecta directamente a la clorofila (Fig. 3).

Análisis de carbohidratos:

En el análisis de carbohidratos se obtuvo una mayor concentración de azúcares para T1 (Mg/2) y T2 (Mg) y una menor concentración para T3 (2 Mg). Como se sabe el Magnesio es importante para el ingreso de carbohidratos en el floema (Bidwell, 1990), por lo que no se ve un efecto notable en este parámetro, es decir, las concentraciones de Magnesio que se usaron no tuvieron efecto sobre la carga del floema.

Tratamiento	Concentración de azúcar (mg·mL ⁻¹)
T1 (Mg 50%)	0,08
T2 (Mg 100%)	0,09
T3 (Mg 200%)	0,056

Porcentaje de materia seca:

Se calculó el promedio del porcentaje de materia seca de la parte aérea para cada tratamiento T1 ($X=21,11 \pm 10,30\%$), T2 ($X=20,44 \pm 10,74\%$) y T3 ($X=17,50 \pm 10,87\%$); no presentaron una diferencia significativa ($F=0,39$; $gl_1=2$; $gl_2=33$; $\alpha=0,05$). De igual manera, el promedio del porcentaje de materia seca de la raíz para cada tratamiento fue: T1 ($X=26,54 \pm 15,61\%$), T2 ($X=26,10 \pm 22,61\%$) y T3 ($X=24,50 \pm 22,29\%$); tampoco mostraron una diferencia significativa ($F=0,03$; $gl_1=2$; $gl_2=21,27$; $\alpha=0,05$). El porcentaje de materia seca no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, lo que indica que la actividad fotosintética no se ve afectada, y

esto confirma los datos de análisis de carbohidratos vistos previamente.

Concentración de proteínas:

Se calculó el promedio de la concentración de proteínas para cada tratamiento T1 ($X=5,79 \pm 3,38 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$), T2 ($X=8,28 \pm 3,82 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$) y T3 ($X=9,43 \pm 6,73 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$). Los cuales no mostraron diferencias significativas ($F=0,58$; $gl_1=2$, $gl_2=9$, $\alpha=0,05$). A pesar de que el magnesio está implicado en la estabilización de partículas ribosómicas, al enlazar las subunidades que forman el ribosoma, y de ser un activador en la síntesis de proteínas (Bidwell, 1990), las diferentes concentraciones no afectaron ninguna de estas funciones, esto explica por qué no fueron afectadas la materia seca, ni la concentración de carbohidratos.

Sintomatología:

Las plantas T1 (50 % Mg) presentaron síntomas como clorosis desde los márgenes hacia la parte interior, manchas moteadas de color rojizo. Estos resultados coinciden con lo que señala Resh (1997). Las plantas T3 (200% Mg) también presentaron clorosis similar a T1, debido a que el exceso de magnesio causa deficiencia de potasio, produciendo síntomas similares a la deficiencia de magnesio (Morales, 2006)(Fig. 4).

CONCLUSIONS

- ♦ La deficiencia y exceso de magnesio no afectó la actividad la concentración de materia seca, es decir, no influye en la fotosíntesis directamente a pesar de que la concentración de clorofila si fue afectada.
- ♦ El exceso de magnesio influye en especial al crecimiento y la deficiencia afecta principalmente la concentración de clorofila.
- ♦ La deficiencia y el exceso de magnesio son perjudiciales para el cultivo de *R. sativus* L. var. Grimson Giant.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwala, S.C & Mehrotra, S.C. 2005. Iron-magnesium antagonism in growth and metabolism of radish. *Plant and Soil* 80: 355-361.
- Azcon-Bieto, J. & Talon, M. 1996. Fisiología y

- Bioquímica Vegetal. 1º Ed. Ed. Interamericana Mc. Graw-Hill. Madrid. España. 581 p.
- Bidwell, R. G. 1990. Fisiología Vegetal. 1º Ed. AGT Editor S.A. México. pp. 278-281.
- Fernández, J. & García, R. 1982. Edafología y Fertilización agrícola. Ed. Aedo Barcelona. 1º Edición. España. p.116.
- Fink, M., Feller, C., Scharpf, H.C., Weier, U., Maync, A., Ziegler, J., Paschold, P.J. & Strohmeyer, K. 2000. Nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium contents of field vegetables - Recent data for fertiliser recommendations and nutrient balances. *J. Plant Nutrit. Soil Sci.* 162: 71-73.
- Morales, J. 2005. Carencia de nutrientes minerales. Infojardín. España. Disponible en <http://www.infojardin.com/articulos/carencias-nutrientes-minerales,htm>. leído el 08 de abril del 2007.
- Morales, J. 2006. Carencias de Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Infojardin. España. Disponible en <http://www.infojardin.com/articulos/carencias-nitrogeno-fosforo-potasio.htm#potasio> leído el 08 de abril del 2007.
- Pedler J.F.; Kinraide T.B. & Parker D.R. 2004. Zinc rhizotoxicity in wheat and radish is alleviated by micromolar levels of magnesium and potassium in solution culture. *Plant and Soil* 259: 191-199.
- Resh, M. H. 1997. Nutrición de las plantas. pp. 39-56. Cultivos hidropónicos. Ed. Mundi-Prensa. México.
- Saiki, C., Hirasawa, R., Sadayasu, C., Yamashiro, S., Tominaga, M. & Sato, K. 2004. Uptake of iron by a vegetable: kaiware daikon (Japanese radish sprout). *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)*. 50: 286-290.
- Zarraga A. 2005. Hortalizas y verduras. Consumer.es. Erosko. España. Disponible en <http://www.verduras.consumer.es/documentos/hortalizas/rabano/intro.php>. leído el 08 de abril del 2007.

Recibido para publicación el 15 de marzo del 2007 y aceptado el 21 de mayo del 2007.