

- Andriulo, A., M.L. Galetto, C. Ferreira, G. Cordone, y C. Sasal. 1998. Efecto de 11 Años de riego complementario sobre un Argiudol típico Pampeano. *Ciencia del Suelo* 16:125-127.
- Costa, J.L., y V. Aparicio. 2008. Evaluación de propiedades químicas y físicas en lotes con pivote central en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Génova, L.J. 2011. Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 119:63-81.
- INTA. 1999. Recomendaciones para la utilización de aguas para riego en función de su calidad, síntesis de los trabajos realizados en las unidades del INTA-IPG. Seminario de capacitación. Impacto ambiental del riego complementario. Pergamino, Argentina. 87 p.
- Lavado, R.S. 2009. Salinización y sodificación de suelos de producción agrícola extensiva por riego complementario. En: *Alteraciones de la fertilidad de los suelos*. Taboada, M.A. y Lavado, R.S (Editores). Editorial FAUBA. 163 p.
- Maddonni, G. 2011. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural región of Argentina, a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*. 21 p.
- Mon, R., C. Irurtia, F.G. Botta, O. Pozzolo, F. Bellora Melcón, D. Rivero, y M. Bomben. 2007. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the rolling pamparegión of Argentina. *Ciencia e investigación agraria*. 34:143-150.
- Pilatti, M.A., S. Imhoff, P. Ghiberto, y R. Marano. 2005. Changes in some physical properties of Mollisols induced by supplemental irrigation. *Geoderma* 133 (2006) 431-443.
- Rampoldi, E.A., M. Boccardo, C. Álvarez, E. Martelloto, A.I. Salinas, E.F. Lovera, J.P. Giubergia, y V. Bustos. 2010. Calidad de las aguas subterráneas utilizados para riego suplementario en la provincia de Córdoba. INTA Manfredi. 20 p.
- Sainato, C., G. Galindo y O.S. Heredia. 2006. Agua subterránea: Explotación y su utilización agropecuaria. 1 ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía. 115 p.
- Torres Duggan, M., C.R. Álvarez, M.A. Taboada, T. Celesti, F. Vignarolli, y D. D'ambrosio. 2012. Riego complementario en un Argiudol típico de la Pampa Ondulada argentina bajo siembra directa: efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas. *Ciencia del Suelo* 30:201:207.

Curvas de acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Coolward cultivada en invernadero en México

Anacleto Sosa Baldivia^{1,5}, Guadalupe Ruíz Ibarra², Juliana Padilla Cuevas³, Jorge D. Etchevers Barra³, Javier Z. Castellanos Ramos⁴, y Raul Rene Robles de la Torre⁵

Introducción

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza que por su ciclo corto y dinámica de crecimiento poco común requiere precaución al momento de realizar su fertilización (Maroto, 1990). Esto se asocia a que en su etapa de plántula puede sufrir daños por toxicidad de fertilizantes (Kamata, 1969), y un mal manejo de su fertilización nitrogenada, además de reducir su rendimiento y calidad, puede incrementar el contenido de nitratos en las hojas los cuales son nocivos para el hombre (Libert y Franceschi, 1987). De acuerdo con Welch et al. (1983), la lechuga requiere un suministro adecuado de nutrientes en el último tercio de su ciclo para su óptimo crecimiento ya que 60% de sus requerimientos nutricionales son cubiertos en este periodo. Por otro lado, la baja eficiencia de la lechuga para recuperar los nutrientes aplicados vía fertilización (Sosa, 2007), a la par de que los agricultores aplican altas dosis de fertilización cuando su crecimiento es todavía lento (Costigan, 1987; Gardner y Pew, 1979), conduce a que grandes cantidades de nitrógeno (N) se pierdan por lixiviación y desnitrificación (Pritchard et al., 1995) y se

contaminen con nitratos los acuíferos (Castellanos et al., 1999; Fontes et al., 1997). Una práctica que se utiliza para mejorar la eficiencia de los cultivos para absorber los nutrientes que se aplican al suelo es fraccionar la fertilización, y para realizar la curva de acumulación nutrimental es la mejor herramienta (Bugarin-Montoya et al., 2011; Bertsch, 2005; Castellanos, 1997; Zink y Yamaguchi, 1962).

Considerando la relevancia de esta información, desde hace 55 años varios investigadores se han dedicado a establecer el patrón de acumulación nutrimental de los cultivos hortícolas de mayor interés antropocéntrico entre de los que se incluye la zanahoria (Sosa et al., 2013; Evers, 1988), brócoli, (Castellanos et al., 1999), pepino (Honorato et al., 1993; Ward, 1967), tomate (Tapia y Gutiérrez 1997), chile (Burgueño, 1994), melón (Tyler y Lorenz, 1964), cebolla (Duque et al., 1983; Zink, 1966), ajo (Bertoni et al., 1988; Zink 1963), fresa (May et al., 1994), sandía (Villalobos y Salas, 2012), pimienta morrón (Valle, 2010), apio (Rincón et al., 2002), calabacita (Rodas-Gaitán et al., 2012) y rábano (Sosa, 2007). Con relación al

¹ Investigador de Amway-Nutrilit S. de R.L. Rancho el Petacal Jalisco, México

² Profesor del Instituto Tecnológico Superior de Tamazula de Gordiano Jalisco, México

³ Profesor del Colegio de Postgraduados, Montecillos Estado de México, México

⁴ Director del Laboratorio Fertilab, Celaya Guanajuato, México

⁵ Profesor de CIBA-IPN, Campus Tlaxcala México

* Autor de contacto. Correo electrónico: anacleto.sosa@amway.com

cultivo de lechuga, aun cuando su curva de acumulación nutrimental ya fue generada (Zink y Yamaguchi, 1962; Rincón, 2004), esta podría no ser extrapolable a las condiciones de México, ya que se desarrollaron en ambientes diferentes. Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la dinámica de crecimiento y el ritmo de absorción de N, fósforo (P) y potasio (K) en lechuga cultivada bajo invernadero en México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el invernadero del área de Edafología de la Universidad Autónoma de Chapingo (Texcoco, Estado de México). Se utilizó un suelo limo arenoso colectado en la ribera de un canal de irrigación ubicado en el Colegio de Postgraduados, (Montecillos, Estado de México), el cual presentó pH 6.5, 4.5% de materia orgánica, 0.28% de N total, 35 ppm de P-Olsen y 960 ppm de K-intercambiable. Antes de establecer el experimento, a este sustrato se le aplicó una fertilización basal de 400, 100 y 200 mg de N, P y K kg⁻¹ de suelo seco, así como una mezcla de micronutrientes [3.0 mg de magnesio, hierro, manganeso y zinc; 1.0 mg de cobre; y 0.3 mg de boro kg⁻¹ de suelo seco]. Las fuentes fertilizantes utilizadas fueron urea, superfosfato de calcio triple, sulfato de K, Mg, Fe, Mn y Cu y borato de sodio (11% B). Esta fertilización es la que el NFDC (1976) recomienda para evaluar el rendimiento de los cultivos bajo condiciones no limitantes bajo invernadero. Se sembró el cultivar Coolward en charolas (o bandejas) de unicel de 200 cavidades y 12 días después de la emergencia (DDE), las plántulas se trasplantaron a macetas de polietileno. El tamaño y número de macetas por unidad experimental fue función de la etapa fenológica en la que se realizó el muestreo (**Tabla 1**). En el invernadero, las macetas fueron distribuidas al azar utilizando tres repeticiones.

El riego de las plantas de lechuga cultivadas en macetas se realizó manualmente dos veces al día. La temperatura

promedio en el invernadero durante el periodo que se condujo el experimento fue 22 °C con un valor mínimo y máximo de 17 y 27 °C, respectivamente. Desde los once DDE y hasta la madurez comercial del cultivo se realizaron nueve muestreos de acuerdo a la escala fenológica propuesta por Huerres y Caraballo (1988). En cada muestreo, las plantas cosechadas se dividieron en porción aérea (PA) y radical (PR) y se determinó su materia seca (MS), secándolas en una estufa con circulación forzada de aire a 70 °C durante 24 h. Las muestras se molieron y analizaron para determinar la concentración de N, P y K. Se analizó el N usando un equipo de digestión semimicro Kjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965). Para analizar P y K se realizó una digestión húmeda usando una mezcla de ácido nítrico (HNO₃) y perclórico (HClO₄) en una relación 3:1. El P se evaluó con el método del fosfovanadomolibdato (Jackson, 1976) y el K fue medido en un equipo de emisión atómica. Con el peso seco y la concentración de N, P y K, se calculó la acumulación de nutrientes de la PA, PR, y Biomasa Total (BT) y a partir de esta información se construyeron las curvas de acumulación de biomasa y nutrientes expresadas en valores relativos. El valor 100 se asignó a la cantidad total acumulada de MS, N, P y K al momento de la cosecha del cultivo. El índice de cosecha se estimó dividiendo la MS acumulada en la PA entre la BT acumulada en la planta entera. La relación PA:PR se calculó dividiendo la MS acumulada en la PA entre la MS acumulada en el sistema radical de la planta.

Resultados y discusión

Curva de acumulación de biomasa

En la **Figura 1**, se presenta la acumulación relativa de MS en PA, PR y total durante el ciclo de la lechuga cv. Coolward (0-65 DDE) cultivada en invernadero. Los valores relativos se calcularon con base en la información de la **Tabla 2** y el 100% se asignó a la BT acumulada en madurez comercial (MC) (35 060 mg planta⁻¹).

Tabla 1. Macetas por unidad experimental, cantidad de suelo por maceta y plantas por maceta en cada muestreo.

Muestreo	DDE	Etapas fenológica*	Macetas unidad experimental ¹	kg de suelo maceta ¹	Planta maceta ¹
1	11	2 hojas (V2)	5	0.5	5
2	17	4 hojas (V4)	4	1.5	4
3	24	6 hojas (V6)	3	2	3
4	29	8 hojas (V8)	3	4	3
5	35	IFRO	1	8	2
6	43	IFRE	1	12	2
7	50	CRE1	1	12	2
8	57	CRE2	1	12	2
9	65	MC	1	12	2

* Escala fenológica según Huerres y Caraballo (1988). IFRO = Inicio de formación de la roseta; IFRE = Inicio de formación del repollo. CRE1 y CRE2: 30 y 60% del crecimiento del repollo; MC = Madurez comercial; DDE = Días después de la emergencia. Se utilizaron tres repeticiones por unidad experimental.

En los primeros 24 DDE (V0-V6), la acumulación de MS fue baja (0.5% de la BT en MC), acumulándose casi totalmente (95%) en la PA. Entre los 24 y 35 DDE (V6-IFRO), la planta produjo 8% de la BT final, con 78% en la PA y 22% en la PR de la planta. Esto resultó en un descenso en la relación PA:PR (3 en promedio), que se asoció a un mayor crecimiento de raíces entre la etapa V4 y V6. Según Gardner et al. (1985), con esta estrategia la planta asegura el adecuado suministro de agua y nutrientes en su fase de crecimiento rápido. La acumulación linear de MS comenzó a los 35 DDE (IFRO) y continuó hasta la MC (65 DDE). En este periodo se produjo 81% de la MS total, la mayor parte de la cual se incorporó en la PA, primero para formar las hojas de roseta y después las del repollo; como resultado de esto, el IC y la relación PA:PR en MC fue 0.90 y 8.4, respectivamente. Estos resultados son congruentes con los reportados por Seginer (2003) en Inglaterra, Rincón (2004) en España y Doerge et al., (1992) en EE.UU., sugiriendo que, cuando la lechuga recibe una nutrición balanceada, tales parámetros fisiológicos son independientes del sistema de producción y la localidad,

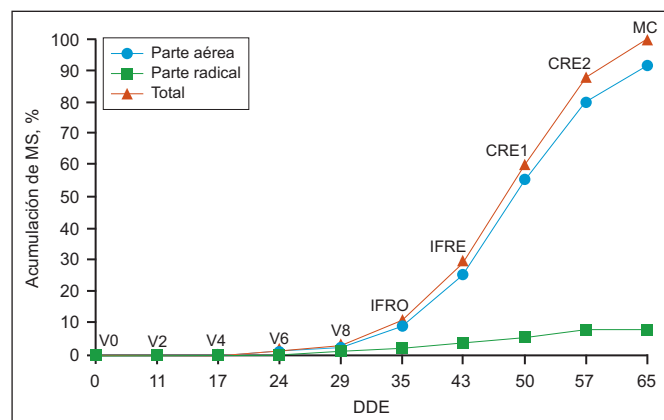


Figura 1. Curva de acumulación de materia seca (MS) biomasa en porción aérea (PA), porción radical (PR) y total en lechuga cv. Coolward cultivada en invernadero.

coincidiendo con lo que afirman Etchevers et al. (1991) y Sosa et al. (2015). La MS acumulada en la PA en los últimos 22 días antes de la cosecha fue 25 560 mg planta⁻¹ (64% de la BT acumulada) y se utilizó principalmente para formar las hojas del repollo; por lo tanto, al finalizar el ciclo del cultivo 90% de la BT (31 490 mg planta⁻¹) se acumuló en la PA (roseta y repollo), lo que concuerda con lo reportado por Heinen et al. (1991) y Huett y Dettmann (1991).

Absorción de N, P y K

En la **Figura 2** se presenta la acumulación relativa de N, P y K en la PA y PR en diferentes estadios fenológicos de la lechuga calculada con base en la información de la **Tabla 3**.

Como se puede apreciar, la acumulación nutrimental en los primeros 24 DDE (V0-V6) fue baja, equivalente a sólo 1% de los requerimientos totales de N, P y K (11.1, 1.2 y 12.4 mg planta⁻¹ de N, P y K, respectivamente) (**Tabla 3**). Después del estadio V6, la acumulación nutrimental se incrementó y las cantidades de N, P y K absorbidas se incorporaron principalmente en la PA. La alta cantidad de nutrientes presentes en la PA entre los estados V6 e IFRO se asoció con la cantidad de BT acumulada (**Tabla 2**) ya que la concentración N, P y K durante este periodo tendió a disminuir (**Tabla 3**). A partir de la etapa de IFRE y hasta la MC (22 días), se acumularon 1,012, 107 y 1,016 mg N, P y K en la planta (72, 65 y 66% del N, P y K total absorbido), de los cuales, 948, 97 y 923 mg N, P y K se encontraron en la PA y 64, 10 y 93 mg N, P y K en la PR (casi 90 y 10% del N, P y K total acumulado, respectivamente). En MC del N, P y K total acumulado en lechuga, 92, 87 y 88% fue incorporado en la PA y el resto (8, 13 y 12% del N, P y K, respectivamente) en la PR. La curva de acumulación generada para N indica que la fertilización nitrogenada de lechuga debe fraccionarse durante su ciclo de cultivo. Debido a que en los primeros 24 DDE la acumulación de MS y N en esta especie es baja, es recomendable que hasta antes del trasplante la dosis

Tabla 2. Acumulación de materia seca en porción aérea, radical y total en lechuga cv. Coolward cultivada en invernadero.

DDE	Etapas*	Porción aérea ----- mg materia seca planta ⁻¹ -----	Porción radical ----- mg materia seca planta ⁻¹ -----	Biomasa total ----- mg materia seca planta ⁻¹ -----	Relación PA:PR	IC
11	V2	6 (1)	1 (0.3)	7 (1.3)	6	0.83
17	V4	30 (2)	5 (0.7)	35 (2.7)	6	0.86
24	V6	170 (7)	10 (1)	180 (8)	17	0.95
29	V8	560 (57)	240 (9)	800 (66)	2	0.70
35	IFRO	2350 (72)	680 (21)	3030 (93)	4	0.85
43	IFRE	8030 (115)	1470 (120)	9500 (235)	6	0.85
50	CRE1	17 960 (345)	2140 (73)	20 100 (418)	8	0.89
57	CRE2	26 140 (54)	3370 (32)	29 510 (86)	8	0.89
65	MC	31 490 (348)	3580 (151)	35 060 (499)	8	0.90

* Escala fenológica según Huerres y Caraballo (1988). V2, V4, V6 y V8 = Dos, cuatro, seis y ocho hojas, respectivamente; IFRO = Inicio de formación de la roseta; IFRE = Inicio de formación del repollo. CRE1 y CRE2: 30 y 60% del crecimiento del repollo; MC = Madurez comercial; DDE = Días después de la emergencia. Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones estándar (n = 3).

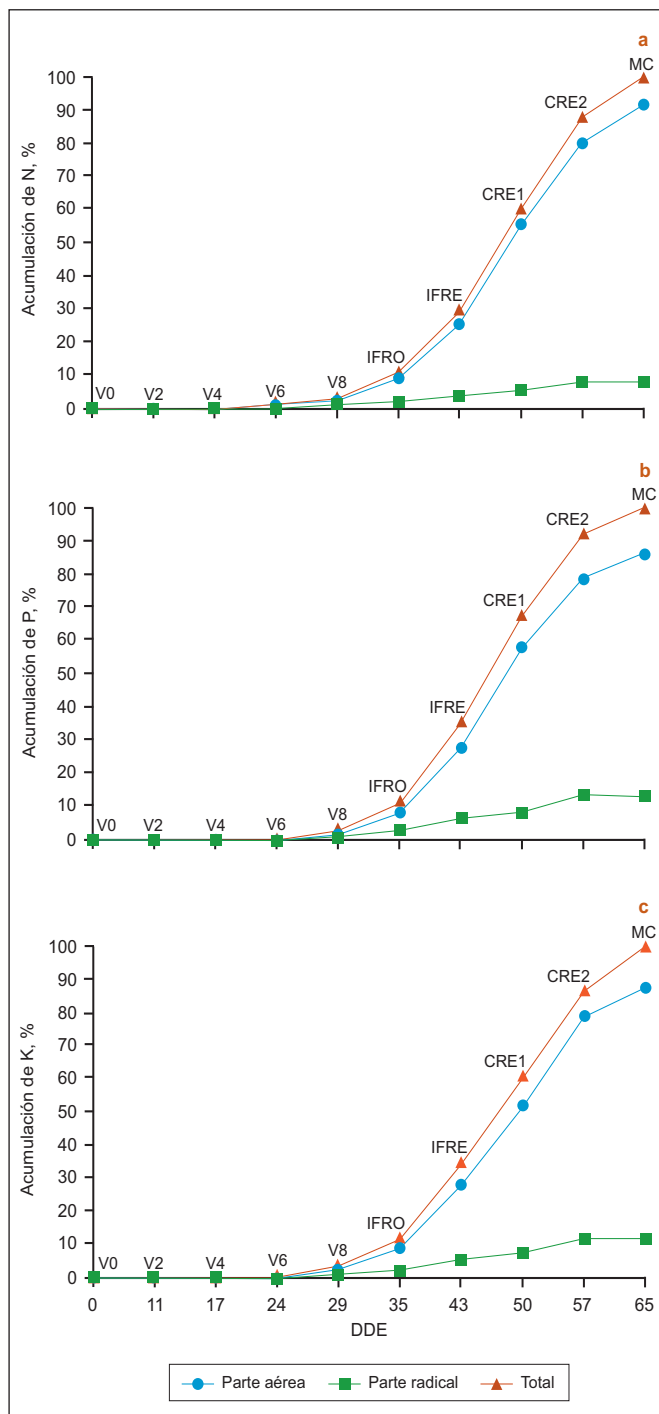


Figura 2. Acumulación relativa de N (a), P (b) y K (c) en porción aérea (PA), porción radical (PR) y total en lechuga cv. Coolward cultivada en invernadero.

de N a aplicar sea a lo mucho un tercio de la dosis total, el fertilizar con dosis altas en esta etapa no se justifica ya que por su alta dinámica y movilidad se estaría exponiendo el N del fertilizante a reacciones de inmovilización y desnitrificación; así como a su pérdida por lixiviación en el suelo (Barber y Silberbush 1984). Ante esta situación, la fertilización nitrogenada en lechuga debe fraccionarse de tal manera que se asegure una alta disponibilidad de N en su periodo de crecimiento rápido el cual ocurre entre el IFRO y CRE2. Para lograr esto, una alta proporción de la dosis se debe suministrar en la etapa V8 que es cuando comienza a aumentar la demanda de N, con esto se asegura un adecuado suministro de N en los últimos 22

días de su ciclo que es cuando la lechuga absorbe 72% de sus requerimientos totales de N. Estos resultados son congruentes con lo reportado por Welch et al. (1983) en California, EE.UU. El punto de inflexión en la curva de demanda de N ocurrió en la etapa de CRE2 (57 DDE); esto indica que la absorción de N en esta especie comienza a reducirse en esta etapa y su aplicación, tal como lo señala Seginer (2003), debe finalizar al menos siete días antes de la cosecha. La aplicación de N después de que el repollo ha alcanzado el 60% de su tamaño final no mejora la productividad del cultivo y sólo incrementa del costo de producción (Murakami et al. 2002; Broadley et al. 2003; Gardner y Pew 1979; Prichard et al., 1995), la acumulación de nitratos en el repollo (Seginer 2003) y el riesgo de contaminación de los acuíferos (Castellanos et al., 1999; Fontes et al., 1997). El patrón de acumulación de P y K determinado en este estudio fue similar al del N; no obstante, por la escasa movilidad del P (Barber y Silberbush, 1984; Lawton y Vomocil 1954) y del K en el suelo (Fassbender y Bornemisza, 1987), en caso de ser necesario fertilizar con estos dos nutrientes lo más recomendable es aplicarlos antes de establecer el cultivo en campo tal como lo recomiendan Nagata et al. (1992) en Florida y Zink y Yamaguchi (1962) en California, EE.UU. Estos investigadores determinaron que la mejor opción para fertilizar a la lechuga con P y K es justo al momento de su trasplante realizando su aplicación en banda.

Conclusiones

En los primeros 35 DDE, que representan el 54% de la duración ciclo del cultivo (V0-IFRO), la lechuga solo acumuló 12% de su demanda total de N, P y K. La rápida acumulación de biomasa y nutrientes ocurrió 22 días antes de la cosecha, cuando más del 60% de los requerimientos totales de N, P y K fueron acumulados. Esto indica que entre el IFRO e IFRE de la lechuga, se debe poner especial atención en su nutrición a fin de asegurar su alto potencial productivo. La curva de acumulación de N indica que para mejorar la eficiencia de la lechuga para recuperar el N derivado del fertilizante, su dosis debe fraccionarse de tal manera que una alta proporción coincida con el periodo de máxima demanda el cual ocurre entre IFRO y CRE2. En contraste, considerando el ciclo corto de la lechuga (< 70 días) y la baja movilidad del P y K en el suelo, la fertilización fosfatada y potásica debe realizarse antes del trasplante.

Bibliografía

- Barber, S. A. y M. Silberbush. 1984. Root nutrient, water influx, and plant growth. In: S.A. Barber, and D.R. Bouldin (Editors). Plant root morphology and nutrient uptake. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA. 65-87. Lettuce and spinach.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrientes como apoyo de recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas. 57:1-10. IPNI Norte de Latinoamérica. Quito, Ecuador.
- Bertoni, G., P. Morard, y L. Espagnacq. 1988. Dynamique de l'absorption des elements minéraux chez l'ail (*Allium sativum* L). Agrochimica 32:518-530.
- Bremner, J. M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: C. A. Black (Editor). Methods of soil analysis, part 2. ASA. Madison, WI, USA. 1324-1345.

Tabla 3. Concentración de nitrógeno, fósforo, y potasio y su acumulación en porción aérea y radical de lechuga cv. Coolward cultivada en invernadero.

DDE	Etapa*	Concentración nutrimental		Acumulación nutrimental		
		PA	PR	PA	PR	Total
		----- (%) -----		----- (mg planta ⁻¹) -----		
Nitrógeno						
11	V2	5.1 (0.2)	4.1 (3.1)	0.3 (0.1)	0.1 (0.03)	0.4 (0.13)
17	V4	6.3 (0.1)	3.8 (0.1)	2 (0.3)	0.2 (0.03)	2.2 (0.33)
24	V6	6.5 (0.2)	3.6 (0.1)	11 (1)	0.3 (0.1)	11.3 (1)
29	V8	5.9 (0.2)	3.4 (0.2)	33 (3)	8 (1)	41 (4)
35	IFRO	5.3 (0.2)	3.4 (0.1)	124 (7)	23 (2)	147 (9)
43	IFRE	4.4 (0.1)	3.4 (0.2)	352 (10)	49 (3)	401 (13)
50	CRE1	4.4 (0.1)	3.3 (0.1)	782 (30)	72 (5)	853 (35)
57	CRE2	4.3 (0.1)	3.2 (0.1)	1132 (91)	108 (6)	1240 (97)
65	MC	4.1 (0.1)	3.2 (0.2)	1300 (33)	113 (7)	1413 (40)
Fósforo						
11	V2	0.5 (0.01)	0.9 (0.01)	0.03 (0.001)	0.01 (0.001)	0.04 (0.002)
17	V4	0.6 (0.01)	0.8 (0.01)	0.21 (0.03)	0.03 (0.001)	0.24 (0.03)
24	V6	0.6 (0.01)	0.8 (0.02)	1.1 (0.3)	0.1 (0.03)	1.2 (0.33)
29	V8	0.6 (0.02)	0.8 (0.01)	3.4 (0.3)	2 (0.03)	5.4 (0.33)
35	IFRO	0.6 (0.02)	0.8 (0.02)	14 (2)	6 (1)	20 (3)
43	IFRE	0.6 (0.01)	0.8 (0.02)	45 (4)	11 (1)	56 (5)
50	CRE1	0.5 (0.01)	0.7 (0.01)	95 (6)	15 (2)	110 (8)
57	CRE2	0.5 (0.02)	0.7 (0.02)	128 (7)	22 (2)	150 (8)
65	MC	0.5 (0.01)	0.6 (0.02)	142 (13)	21 (2)	163 (15)
Potasio						
11	V2	4.1 (0.1)	4.3 (0.1)	0.3 (0.1)	0.1 (0.03)	0.3 (0.13)
17	V4	6.3 (0.1)	6.9 (0.2)	2.1 (0.3)	0.3 (0.02)	2.4 (0.32)
24	V6	7.1 (0.2)	7.4 (0.2)	12 (1)	1 (0.03)	13 (1.03)
29	V8	7.0 (0.1)	6.9 (0.1)	39 (4)	16 (2)	55 (6)
35	IFRO	6.0 (0.1)	6.3 (0.2)	141 (9)	43 (4)	184 (13)
43	IFRE	5.5 (0.1)	6.3 (0.1)	438 (13)	93 (6)	531 (19)
50	CRE1	4.5 (0.2)	5.9 (0.2)	805 (25)	127 (9)	932 (34)
57	CRE2	4.4 (0.2)	5.7 (0.2)	1156 (78)	192 (16)	1348 (96)
65	MC	4.3 (0.2)	5.2 (0.2)	1360 (100)	187 (15)	1547 (115)

* Escala fenológica según Huerres y Caraballo (1988). PA = Porción aérea; PR = Porción radical; V2, V4, V6 y V8 = Dos, cuatro, seis y ocho hojas, respectivamente; IFRO = Inicio de formación de la roseta; IFRE = Inicio de formación del repollo. CRE1 y CRE2: 30 y 60% del crecimiento del repollo; MC = Madurez comercial; DDE = Días después de la emergencia. Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones estándar (n = 3).

- Broadley, M. R., I. Seginer, A. Burns, A. J. Escobar-Gutiérrez, I. G. Burns y P. J. White. 2003. The nitrogen and nitrate economy of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* var. Capitata L.). J. Experimental of Botany. 54:2081-2090.
- Bugarín-Montoya R, M. Virgen-Ponce, A. Galvis-Spindola, D. García-Paredes, T. Hernández-Mendoza, I. Bojórquez-Serrano, y A. Madueño-Molina. 2011. Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. Bioagro. 23(2):93-98.
- Burgueño, H. 1994. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Culiacán, México: Folleto técnico.
- Castellanos, Z.J., J.L. Ojodeagua, F. Méndez, G. Alcantar, S. Villalobos-Reyes, P. Vargas, J.J. Muñoz-Ramos e I. Lazcano-Ferrat. 2002. Potassium requirements for garlic under fertigation. Better Crops International. 16(1):9-11.
- Castellanos, J.Z. 1997. Las curvas de acumulación nutrimental en los cultivos hortícolas y su importancia en los programas de fertilización. In: Memorias del 2do. Simposio Internacional de Fertigación. FIRCO. Querétaro, México. 73-82.
- Castellanos, J.Z., A. Sosa, V. Badillo, S. Villalobos, y I. Lascano. 1999. Nutritional management in broccoli in central Mexico. In: T. A. Tindall and D. Westerman (Editors). Proceedings of the Third Western Nutrient Management Conference. Salt Lake City, Utah, USA. 44-48.
- Costigan, P. A. 1987. A model to describe the pattern of availability of broadcast phosphorus fertilizer during the growth of a crop. Plant and Soil. 101:281-285.
- Doerge A.T., K.H. Pritchard, y W.T. McCreary. 1992. Nitrogen Management in Drip Irrigated Leaf Lettuce, Spinach and Green Crops. Vegetable Report. 31-62.
- Duque, M.M.C., C.E.G. Perdomo, y J.V. Jaramillo. 1983. Crecimiento y absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en cebolla *Allium cepa* L. variedad Ocañera. Acta Agronómica. 33:16-22.
- Etchevers, B.J.D., J. Rodríguez, y A.S. Galvis. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. Terra. 9:3-10.
- Evers, A.M. 1988. Effects of different fertilization practices on the growth, yield, and dry matter content of carrot. Journal of Agricultural Science Finland. 60:153-152.
- Fassbender, H.W., y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Fontes, P.C. R., P.R.G. Pereira, y R.M. Conde. 1997. Critical chlorophyll, total nitrogen, and nitrate-nitrogen in leaves associated to maximum lettuce yield. Journal of Plant Nutrition. 20:1061-1068.
- Gardner, B.R., y W.D. Pew. 1979. Comparisons of various N sources for fertilization of winter grown head lettuce. Journal of the American Society for Horticultural Science. 104:534-536.
- Gardner, P.F., B.R. Pearce, y R.L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. University Press. Ames Iowa, USA.
- Heinen, M., A. de Jager, y H. Niers. 1991. Uptake of nutrients by lettuce on NFT with controlled composition of the nutrient solution. Journal of Agricultural Science. 9:97-212.
- Honorato, R., L. Gurovich, y R. Piña. 1993. Ritmo de absorción de N, P y K en pepino de semilla. Ciencia e Investigación Agraria. 3:69-172.
- Huerres, P.C., y N.L. Caraballo. 1988. Horticultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.
- Huett, D.O., y B.E. Dettmann. 1991. Nitrogen response surface models of zucchini squash, head lettuce, and potato. Plant and Soil. 134:243-254.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químicos de suelos. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Kamata, Y. 1969. Cultivation by using large machinery in volcanic ash soil, part 2. Agric. Technology. 24:506-508.
- Lawton, K., y J.A. Vomocil. 1954. The dissolution and migration of phosphorus from granular superphosphate in some Michigan soils. Soil Science Society of America Proceedings. 18:26-32.
- Libert, B., y R.V. Franceschi. 1987. Oxalate in crop plants. J. Agric. Food Chem. 35:926-938.
- Maroto, J.V. 1990. Elementos de la horticultura general. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- May, G.M., M.P. Pritts, y M.J. Kelly. 1994. Seasonal patterns of growth and tissue nutrient content in strawberries. Journal of Plant Nutrition. 17:1149-1162.
- Murakami, T., K. Yamada, y S. Yoshida. 2002. Root distribution of field-grown Crisphead lettuce (*Lactuca sativa* L.) under different fertilizer and mulch treatment. Soil Science and Plant Nutrition. 48:347-355.
- Nagata, R.T., C.A. Sanchez, y F.J. Coale. 1992. Crisphead lettuce cultivar response to fertilizer phosphorus. Journal of the American Society for Horticultural Science. 117:721-724.
- NFDC (National Fertilizer Development Center Tennessee Valley Authority). 1976. Greenhouse techniques for soil-plant fertilizer research. Muscle Shoals, Alabama, USA.
- Pritchard, K.H., T.A. Doerge, y T.L. Thompson. 1995. Evaluation of in-season nitrogen tissue tests for drip-irrigated leaf and romaine lettuce. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 26:237-257.
- Rincón, S.L., C.B. Pellicer, y J. Sáez. 2002. Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes del apio en fertirrigación. Invest. Agr. Prod. Prot. Veg. 17(2):291-302.
- Rincón, S.L. 2004. Pautas para una correcta fertigación de la lechuga Iceberg. Vida rural. Marzo: 38-42.
- Rodas-Gaitan, A.H., H. Rodríguez-Fuentes, M.dC. Ojeda-Zacarias, J.A. Vidales-Contreras, y A.I. Luna-Maldonado. 2012. Curva de absorción de macronutrientes en calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.). Revista Fitotecnica Mexicana. (número especial 5). 75-60.
- Seginer, I. 2003. A dynamic model for nitrogen-stressed lettuce. Annals of Botany. 91:623-635.
- Sosa, B.A. 2007. Acumulación de materia seca y absorción de N, P y K en tres hortalizas cultivadas en invernadero. Tesis de Maestría. IRENAT-COLPOS. Montecillos, Estado de México, México.
- Sosa, A., G. Ruíz, I. Bazante, A. Mendoza, J.D. Etchevers, J. Padilla, y J. Castellanos. 2013. Absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en zanahoria cultivada en el Bajío de México. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 11:27-30.
- Sosa, A., J. Muro, G. Gordillo, H. West, X. Liu, G. Ruíz, J. Etchevers, y J. Padilla. 2015. Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (*Spinacia oleracea* L.) cultivada en El Llano en Llamas de Jalisco, México. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. 19:5-10.
- Tapia, M.L., y V. Gutiérrez. 1997. Distribution pattern of dry weight, nitrogen, phosphorus, and potassium through tomato ontogenesis. Journal of Plant Nutrition. 20:783-791.
- Tyler, K.B., y O.A. Lorenz. 1964. Nutrient absorption and growth of four muskmelon varieties. Proceedings of the American Society for Horticultural Science. 48:364-371.
- Valle, M.J.C. 2010. Acumulación de biomasa, crecimiento y extracción nutrimental en pimiento morrón (*Capsicum annum* L.). Tesis de maestría. Departamento de Fitotecnica. UACH. Chapingo, Estado de México, México.
- Villalobos, V.E., y R.C.E. Salas. 2012. Curvas de absorción de nutrientes bajo dos métodos de fertilización en sandía, en Guanacaste, Costa Rica. InterSedes Revista de las Sedes Regionales. 13(26):19-44.
- Ward, G.M. 1967. Growth and nutrient absorption in greenhouse tomato and cucumber. Proceedings of the American Society for Horticultural Science. 90:335-341.
- Welch, N.C., K.B. Tyler, D. Ririe, y F. Broadbent. 1983. Lettuce efficiency in using fertilizer nitrogen. California Agriculture. 37:18-19.
- Zink, F.W. 1966. Studies on the growth rate and nutrient absorption of onions. Hilgardia. 37:203-218.
- Zink, F.W. 1963. Rate of growth and nutrient absorption of late garlic. Proceedings of the American Society for Horticultural Science. 83:579-584.
- Zink, F.W., y M. Yamaguchi. 1962. Studies on the growth rate and nutrient absorption of head lettuce. Hilgardia. 32:471-500.