

Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes del apio en fertirrigación

L. Rincón Sánchez *, C. Pellicer Botía, J. Sáez Sironi, A. Pérez Crespo,
A. Abadía Sánchez.

Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (CIDA).
Estación Sericícola. C/ Mayor s/n. 30150 La Alberca (MURCIA).

luisf.rincon@carm.es

RESUMEN

Se han estudiado el crecimiento vegetativo y la extracción de nutrientes en apio (*Apium graveolens* L.) cv Istar sometido a riego por goteo y a una densidad de plantación de 12 plantas/m². Se tomaron muestras de las plantas en el momento del trasplante, a los 30 días y posteriormente cada 14 días durante el período de cultivo de 128 días, en el que se recolectaron 90 t/ha de frutos (piezas) comerciales. En cada muestreo las plantas se fraccionaron (hojas, pecíolos y tallos), se secaron y se determinaron la materia seca, la concentración de nutrientes en planta y la absorción periódica de nutrientes. Al final del período de muestreo, la materia seca total producida fue de 10 t/ha, distribuida en las siguientes proporciones: hojas, 25,7 %; pecíolos, 65,6 %, y tallos, 8,7 %, obteniéndose un índice de área foliar de 8,6. Las tasas más elevadas de crecimiento vegetativo, de crecimiento foliar y de crecimiento del fruto, se produjeron entre 44 y 72 días después del trasplante, encontrándose la mayor eficiencia foliar expresada como asimilación neta en la fase inicial del crecimiento vegetativo (de 0 a 30 días después del trasplante). Las cantidades totales de macronutrientes absorbidos por el cultivo durante el período de muestreo en kg/ha fueron: 311,1 de N; 37,1 de P; 566,5 de K; 147,1 de Ca y 39,0 de Mg. La mayor parte del N, P y K absorbidos se acumularon en los pecíolos y la mayor cantidad de Ca y Mg en las hojas.

Palabras clave: *Apium graveolens*, extracciones, fertilización, concentración, riego por goteo

INTRODUCCIÓN

Las ventajas de la fertirrigación se basan en la posibilidad de aplicar los nutrientes directamente a la zona radicular, permitiendo dosificarlos de acuerdo con la demanda de la planta. Para ello, es necesario disponer de las curvas de absorción de nutrientes en fun-

* Autor para correspondencia
Recibido: 4-10-01
Aceptado para su publicación: 1-2-02

ción del tiempo en condiciones de producción óptima (Bar-Yosef, 1986), para lo cual la materia seca y concentración de nutrientes en la planta deben ser también conocidos.

Cantidades totales de macroelementos han sido recomendadas para la fertilización del apio (Barbieri, 1989; Fink, 1985; Odet y Musard, 1989; Sánchez *et al.*, 1990; Zuang, 1982), presentando grandes diferencias entre autores, debido principalmente a la variabilidad de las condiciones del medio. La mayoría de los trabajos relacionados con la absorción de nutrientes por el apio se han centrado en el abonado nitrogenado y en la influencia de distintas condiciones del medio de cultivo en la concentración de nutrientes en planta. Dermyttaere *et al.* (1990) establecieron en apio una relación lineal entre el contenido de nitratos en planta y la disponibilidad de N-NO₃ en suelo, fijando entre 225 y 350 kg/ha las cantidades de N-NO₃ absorbidas por el cultivo para producciones de 71 y 85 t/ha, respectivamente. Feigin *et al.* (1982) consiguieron las mayores producciones aplicando 336 kg de N/ha. Bajas cantidades de N mantenidas durante las primeras fases vegetativas posteriores al trasplante disminuyen el área foliar, peso seco y la producción final del cultivo (Tremblay *et al.*, 1987). En la misma línea, Dufault (1985) obtuvo mayor desarrollo vegetativo y producción más alta cuando las plantas fueron fertilizadas con elevadas concentraciones de N en la solución de riego en períodos vegetativos posteriores al trasplante. Tremblay y Gosselin (1989a), aplicando distintas concentraciones de N en combinación con distintas relaciones NO₃⁻:NH₄⁺, encontraron incrementos en el área foliar y en el peso de materia seca de hojas, disminuyendo el cociente entre la materia seca de raíz y la materia seca de hojas. Tremblay y Gosselin (1989b) y Santamaria *et al.* (1999), combinando formas nítricas y amoniacales junto con urea, consiguieron aumentar la materia seca y el área foliar en planta, comprobando que la absorción de N se realiza principalmente en forma de nitrato. Tremblay y Senecal (1990) combinaron distintos equilibrios entre fórmulas nitrogenadas (NO₃⁻, NH₄⁺ y urea) con el riego por aspersión y el riego subterráneo, encontrando que el riego por aspersión favorece el crecimiento vegetativo y la concentración de NO₃⁻ y P en planta respecto al riego subterráneo, debido probablemente a una mayor absorción de NO₃⁻ vía foliar. Maticic *et al.* (1992), combinando distintas cantidades de agua junto con distintas cantidades de N-NO₃⁻, señalaron que el contenido de NO₃⁻ en planta disminuye conforme aumentan la cantidad de agua aplicada y la cantidad de N aportado. Bajo condiciones de salinidad en el medio de cultivo, la producción de biomasa no es afectada hasta 10,5 dS/m (Villaert *et al.*, 1990), aunque Francois y West (1982) constataron que con 1,8 dS/m se empiezan a producir descensos en la producción de biomasa.

Distintos trabajos sobre la absorción de nutrientes en función del tiempo se han descrito en pimiento (Cornillon, 1974; Rincón *et al.*, 1995), lechuga (Rincón *et al.*, 1991; Zink y Yamaguchi, 1962) en tomate, melón, alcachofa, brócoli y coliflor (Rincón *et al.*, 1990, 1997, 1998, 1999, 2001). Sin embargo, en apio no se conocen trabajos que relacionen el crecimiento vegetativo con la absorción de nutrientes para las condiciones de cultivo de la región de Murcia.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución del crecimiento vegetativo y determinar las curvas de absorción de macronutrientes en función del tiempo de un cultivo de apio con fertirrigación.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca experimental «Torreblanca» del Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario, situada en la comarca del Campo de Cartagena (37°40' N - 0°58'W) en Murcia, principal zona productora de apio. Las plantas de apio (*Apium graveolens* L.) se obtuvieron en semillero aparte y se trasplantaron el 10 de septiembre de 1998, a una densidad de plantación de 12 plantas/m². La superficie total de cultivo fue de 2.000 m², dentro de la cual se estableció un diseño estadístico de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Las características del suelo de cultivo a la profundidad de 40 cm fueron: textura franco-arcillosa; conductividad eléctrica en el extracto de saturación 5,2 dS/m, carbonatos totales 36,6 %; P (Olsen) 100,2 ppm; K (Ac-NH₄) 579,6 ppm. El agua de riego tenía una conductividad eléctrica de 0,97 dS/m.

En el sistema de riego por goteo se instaló una tubería emisora por cada fila de plantas con emisores de 1 L/h de descarga unitaria situados cada 20 cm. La incorporación de fertilizantes se realizó a través del sistema de riego mediante la técnica de fertirrigación. El riego se dosificó manteniendo en el suelo un potencial mátrico de -20 kPa, medido diariamente en tensiómetros situados a máxima densidad radicular (20 cm del tronco de la planta y a 20 cm de profundidad).

La fertilización consistió en la aplicación de 350 kg/ha de N, 75 kg/ha de P, 600 kg/ha de K, 175 kg/ha de Ca y 35 kg/ha de Mg. El fósforo se aportó como NH₄H₂PO₄, el potasio como KNO₃, el calcio como Ca(NO₃)₂, el magnesio como MgSO₄ y el nitrógeno no aportado en los fertilizantes anteriores, como NH₄NO₃. La dosificación de los fertilizantes se realizó en cada riego, tomando como base la evolución de materia seca en planta.

Las plantas se muestrearon inicialmente en la fecha del trasplante, a los 30 días y posteriormente cada 14 días hasta los 128 días después del trasplante. El número de plantas muestreadas en cada bloque fue de 30 en el primer muestreo, 10 en el segundo y tres en el resto. Las plantas muestreadas se fraccionaron en hojas, pecíolos y tallos y se prepararon para el análisis químico, determinándose la materia seca de cada fracción y total (MST) de cada muestra. El índice de área foliar (IAF) se evaluó mediante la determinación previa del Área Foliar Específica (AFE) (cm² de hoja fresca por gramo de materia seca foliar), relacionando el área foliar total con la superficie de suelo que le correspondía según marco de plantación. En cada fracción vegetal se analizaron N, P, K, Ca y Mg. El nitrógeno total se determinó mediante el método Dumas (Helrich, 1990); el fósforo mediante desarrollo de color con el vanadato-molibdato y medida espectrofotométrica en el visible (Chapman y Pratt, 1973); el potasio, calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica, medida directa sobre el extracto diluido.

El análisis de la producción se realizó midiendo los siguientes parámetros: peso total de piezas (Pt), número total de piezas (N.ºft), peso comercial de piezas (Pc), número de piezas comercial (N.ºfc), peso de pieza comercial (Pfc) e índice de cosecha (Ic = Pc/Pt).

Los parámetros determinados en cada muestreo fueron:

MSH (kg.ha⁻¹) = Materia seca de las hojas (limbos).

MSPe (kg.ha⁻¹) = Materia seca de los pecíolos.

MSTr (kg.ha⁻¹) = Materia seca de los tallos.

MST (kg.ha⁻¹) = Materia seca total = MSH + MSPe + MSTr.

AFE (cm² de hoja verde.g⁻¹ de materia seca de hoja) = Área foliar específica del limbo foliar.

SFt ($m^2 \cdot ha^{-1}$) = Superficie foliar total.
 IAF (adimensional) = Índice de área foliar = SFt ($m^2 \cdot ha^{-1}$)/ 10^4 $m^2 \cdot ha^{-1}$
 CGR ($g \cdot ha^{-1} \cdot día^{-1}$) = Velocidad de crecimiento vegetativo = $[(MST_2 - MST_1)/(t_2 - t_1)] \cdot 10$
 RGR ($g \cdot g^{-1}$ de materia seca. $día^{-1}$) = Crecimiento vegetativo relativo =
 $= (MST_2/MST_1)/(t_2 - t_1)$.
 LGR = Velocidad de crecimiento foliar = $(IAF_2 - IAF_1)/(t_2 - t_1) \cdot 10.000$.
 FGR = Velocidad de crecimiento del fruto ($g \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$) = $(MSPe_2 - MSPe_1)/(t_2 - t_1)$.
 NAR ($g \cdot m^{-2}$ de $IAF \cdot día^{-1}$) = Asimilación neta media = $[(MST_2 - MST_1) / (t_2 - t_1)]^*$
 $* \ln(IAF_2/IAF_1)/(IAF_2 - IAF_1)$.
 $(NUR, PUR, KUR, CaUR, MgUR)$ = Velocidad de absorción de nutriente
 $(kg \cdot ha^{-1} \cdot día^{-1}) = (Absorción\ total\ nutriente)_2 - (Absorción\ total\ nutriente)_1 / (t_2 - t_1) *$
 $SNAR, SPAR, SKAR, SCaAR, SMgAR$ = Acumulación específica de nutriente (mg
 nutriente (g^{-1} materia seca. $día^{-1}$) = $(Absorción\ total\ nutriente)_2 - (Absorción\ total\ nutriente)_1 / (t_2 - t_1) (\ln(MST_2/MST_1)/(MST_2 - MST_1))$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción del cultivo

La Tabla 1 presenta los parámetros de producción del apio en el período de muestreo. La recolección se realizó a los 128 días después del trasplante, tiempo en el que se recolectó un peso total de piezas de 159 t/ha y 90 t/ha de piezas comerciales, resultando un peso medio de pieza comercial de 750 g y un índice de cosecha del 56,7 %. La producción obtenida fue superior a la media conseguida en el cultivo comercial y a la obtenida en otras experiencias (Barbieri, 1989; Dermytanaere *et al.*, 1990; Fink, 1985; Maroto y Pascual, 1991; Prats, 1970).

Tabla 1
Parámetros de producción del apio

Recolección (días después del trasplante)	Pt (t/ha)	Nft/ha	Pc t/ha	Pf (g)	Ic %
128	159	120.000	90	750	57

Crecimiento vegetativo del cultivo

El peso de la MST acumulada por el cultivo en la parte aérea fue de 10 t/ha, contribuyendo los limbos con el 25,7 %, los pecíolos con el 65,6 %, y los tallos con el 8,7 % (Tabla 2). La producción de materia seca se ajustó a un crecimiento de tipo polinómico de la forma: $y = 0,36x^2 + 42,4x - 550$ ($R^2 = 0,94$), siendo «y» la materia seca producida y «x»

los días transcurridos después del trasplante. La mayor producción de materia seca se produjo en los 56 días anteriores a la recolección, donde se acumuló el 53,0 % de la materia seca total acumulada. El IAF aumentó durante todo el período del cultivo, alcanzando el valor de 8,6, magnitud muy superior al del tomate y pimiento de invernadero (Rincón *et al.*, 1990, 1995).

Los parámetros de crecimiento del cultivo se presentan en la Tabla 3. El máximo CGR se produjo entre los 44 y 72 días después del trasplante como consecuencia del mayor incremento producido en la LGR y el FGR. El RGR más alto y la eficiencia foliar más elevada, expresada como NAR, aparecieron en las primeras fases de crecimiento del cultivo (0-30 días después del trasplante), coincidiendo con otros cultivos como pimiento, melón y coliflor (Rincón *et al.*, 1995, 1997, 2001). El LGR aumentó hasta los 72 días después del trasplante, disminuyendo posteriormente debido a la competencia con los pecíolos por fotoasimilados. El FGR se incrementó sensiblemente a partir de los 44 días después del trasplante, manteniendo posteriormente una tasa de crecimiento uniforme hasta la recolección.

Absorción de nutrientes

Nitrógeno

El contenido de nitrógeno más elevado se encontró en los limbos de la hoja (Fig. 1) y la más baja en los pecíolos (pencas), presentando en ambas fracciones una evolución creciente durante los primeros desarrollos vegetativos (0-40 días después del trasplante), manteniéndose posteriormente uniforme hasta el final del cultivo. La concentración de N en hoja (limbo), expresada en porcentaje sobre materia seca, fue del 4,8 % en la etapa media de cultivo (72 días después del trasplante) y del 2,7 % en los pecíolos, valores encuadrados dentro del rango de suficiencia (Mills y Jones, 1996). La cantidad total de nitrógeno absorbido por el cultivo en el período de muestreo fue de 311,1 kg/ha (Tabla 4), superior a las recomendadas en la fertilización del apio por Prats (1970), Fink (1985) y Barbieri (1989). En la acumulación total de N, las hojas contribuyeron con el 38,0 %, los pecíolos (pencas) con el 53,5 % y los tallos con el 8,5 %. La velocidad más alta de absorción de N (NUR) se produjo en el período de mayor FGR y la mayor acumulación específica (SNAR) en la primeras fases vegetativas después del trasplante (Tabla 4).

Fósforo

Es el macronutriente absorbido en menor cantidad por el cultivo. El contenido de fósforo en hojas, pecíolos y tallos, se caracterizó por una tendencia uniforme con pequeñas variaciones a lo largo del período de muestreo (Fig. 1). El contenido de P en hoja en el período medio de cultivo fue del 0,39 % en materia seca, valor considerado como suficiente (Mills y Jones, 1996). La absorción total de fósforo por el cultivo fue de 37,1 kg/ha, inferior a las señaladas en la fertilización del apio por Prats (1970) y Barbieri (1989), exportando las hojas el 32,2 %, los pecíolos con el 59,3 % y los tallos con el 8,5 % (Tabla 5). La mayor PUR se produjo en el período de mayor FGR y la mayor SPAR en las primeras etapas de crecimiento después del trasplante (Tabla 5).

Tabla 2
Peso total de materia seca (MST) y contribución en porcentaje de hojas, pecíolos y tallos, área foliar (AFE), e índice de área foliar (IAF) en apio durante el ciclo de cultivo

Días después del trasplante	MST kg/ha	Distribución (% del total)				AFE	IAF
		Hojas (limbos)	Pecíolos	Tallos			
0	36,6 ± 2,2	47,1 ± 2,9	52,9 ± 1,9	—	480,9 ± 7,9	0,1 ± 0,0	
30	567,8 ± 31,6	60,4 ± 2,7	39,6 ± 2,4	—	255,1 ± 23,3	0,9 ± 0,2	
44	1215,6 ± 63,8	49,9 ± 3,6	37,8 ± 3,6	12,3 ± 0,4	356,2 ± 36,8	2,2 ± 0,4	
58	2942,0 ± 139,1	39,0 ± 2,0	49,2 ± 1,3	11,7 ± 1,7	318,1 ± 20,8	3,6 ± 0,3	
72	4699,2 ± 154,2	32,7 ± 1,8	56,5 ± 3,1	10,8 ± 1,4	387,9 ± 38,3	5,9 ± 0,6	
86	6243,8 ± 338,3	29,3 ± 1,8	61,4 ± 5,2	9,3 ± 1,4	355,1 ± 18,9	6,5 ± 0,4	
100	7677,1 ± 300,8	28,4 ± 1,7	62,1 ± 6,5	9,5 ± 0,3	326,1 ± 3,5	7,8 ± 0,8	
114	9279,4 ± 201,6	26,0 ± 2,2	64,7 ± 7,1	9,3 ± 0,5	324,0 ± 21,8	7,8 ± 0,6	
128	9985,5 ± 308,9	25,7 ± 3,9	65,6 ± 6,0	8,7 ± 0,5	334,9 ± 11,7	8,6 ± 0,1	

Tabla 3
Evolución de los parámetros de crecimiento del apio durante el ciclo de cultivo

Intervalo (días)	CGR	RGR	LGR	FGR	NAR
0-30	1,8 ± 0,1	91,3 ± 0,9	265,8 ± 48,7	0,6 ± 0,0	5,3 ± 0,4
30-44	4,6 ± 0,4	54,5 ± 4,7	928,0 ± 382,0	1,5 ± 0,3	3,3 ± 0,1
44-58	12,3 ± 1,3	63,1 ± 6,0	1.049,7 ± 298,3	6,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5
58-72	12,5 ± 0,8	33,5 ± 2,3	1.642,3 ± 404,5	8,1 ± 1,6	2,7 ± 0,2
72-86	11,0 ± 1,6	20,2 ± 2,2	385,9 ± 353,7	7,7 ± 1,7	1,8 ± 0,1
86-100	10,2 ± 2,3	14,8 ± 3,5	441,7 ± 569,7	6,5 ± 1,6	1,5 ± 0,3
100-114	11,4 ± 1,5	13,6 ± 2,0	497,1 ± 248,3	7,9 ± 0,9	1,5 ± 0,1
114-128	5,0 ± 3,1	5,2 ± 3,2	<558,07 ± 434,6	3,7 ± 3,7	0,6 ± 0,4

Tabla 4
Acumulación y distribución de nitrógeno en hojas, pecíolos y tallos. Absorción periódica y acumulación específica de nitrógeno en apio

Días después del trasplante	N total (kg/ha)	Distribución de N (% del total)			Intervalo (días)	NUR	SNAR
		Hojas	Pecíolos	Tallos			
0	0,8 ± 0,0	67,2 ± 4,1	32,8 ± 2,8	–	0-30	0,7 ± 0,1	3,4 ± 0,2
30	21,1 ± 1,4	75,2 ± 6,3	24,8 ± 1,7	–	30-44	1,9 ± 0,3	2,3 ± 0,3
44	47,6 ± 3,9	64,2 ± 3,5	27,0 ± 1,6	8,8 ± 0,2	44-58	3,9 ± 0,5	2,0 ± 0,2
58	101,5 ± 14,0	53,0 ± 5,9	37,3 ± 5,9	9,7 ± 1,2	58-72	4,0 ± 0,4	1,0 ± 0,1
72	157,5 ± 13,7	47,3 ± 6,6	43,7 ± 3,6	9,0 ± 0,8	72-86	3,8 ± 0,4	0,7 ± 0,1
86	210,9 ± 17,2	42,8 ± 4,2	48,6 ± 3,2	8,6 ± 0,7	86-100	2,5 ± 0,1	0,4 ± 0,1
100	246,0 ± 11,6	41,9 ± 3,1	49,6 ± 4,1	8,5 ± 0,3	100-114	2,3 ± 0,2	0,3 ± 0,1
114	278,2 ± 110,8	38,9 ± 2,2	52,4 ± 2,2	8,7 ± 0,7	114-128	2,3 ± 0,3	0,2 ± 0,2
128	311,1 ± 17,8	38,0 ± 1,8	53,5 ± 4,6	8,5 ± 0,9			

TABLA 5
Acumulación y distribución de fósforo en hojas, pecíolos y tallos. Absorción periódica y acumulación específica de fósforo en apio

Días después del trasplante	P total kg/ha	Distribución de P (% del total)			Intervalo (días)	PUR	SPAR
		Hojas	Pecíolos	Tallos			
0	0,2 ± 0,0	41,5 ± 3,8	58,5 ± 6,1		0-30	0,1 ± 0,0	0,4 ± 0,0
30	2,2 ± 0,6	59,8 ± 5,1	40,2 ± 4,6		30-44	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,1
44	5,2 ± 0,9	46,1 ± 4,1	37,1 ± 3,1	16,8 ± 1,8	44-58	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,0
58	11,7 ± 1,4	41,3 ± 4,2	44,2 ± 2,8	14,5 ± 1,0	58-72	0,4 ± 0,1	0,2 ± 0,0
72	17,5 ± 1,8	32,6 ± 3,1	54,4 ± 3,9	13,0 ± 1,3	72-86	0,4 ± 0,2	0,1 ± 0,0
86	23,6 ± 2,6	30,9 ± 2,8	58,4 ± 6,1	10,7 ± 1,7	86-100	0,5 ± 0,1	0,0 ± 0,0
100	30,0 ± 2,1	31,0 ± 2,6	60,2 ± 5,2	8,8 ± 0,5	100-114	0,3 ± 0,1	0,0 ± 0,0
114	34,5 ± 1,5	31,1 ± 3,7	60,1 ± 4,8	8,8 ± 0,6	114-128	0,2 ± 0,2	0,0 ± 0,0
128	37,1 ± 2,9	32,2 ± 2,6	59,3 ± 4,6	8,5 ± 0,9			

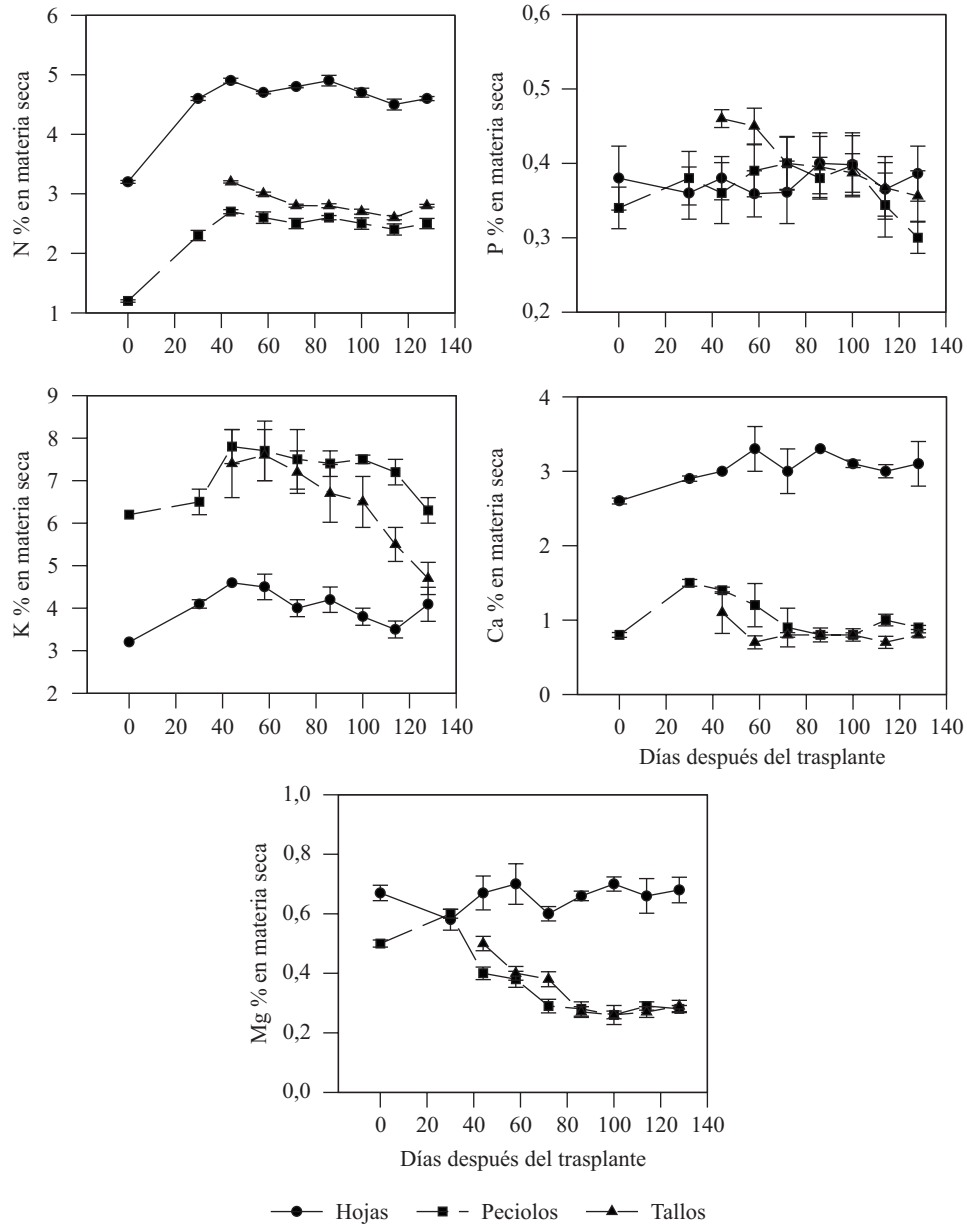


Fig. 1.—Evolución de la concentración de N, P, K, Ca y Mg en hojas, pecíolos y tallos del apio

Potasio

El potasio fue el nutriente absorbido en mayor cantidad por el apio. El contenido más alto de potasio se produjo en los pecíolos, con una evolución creciente en los 44 días después del trasplante, manteniéndose posteriormente uniforme hasta los 30 días anteriores a la recolección, donde disminuyó por efecto de dilución (Fig. 1). El menor contenido de potasio se produjo en el limbo de la hoja con una evolución similar a la de los pecíolos con un ligero aumento en los 15 días previos a la recolección. En el periodo medio del ciclo de cultivo el contenido de K en los pecíolos fue de 7,6 % y de 3,2 % en la hoja, valores considerados como suficientes (Mills y Jones, 1996). La absorción total de potasio por el cultivo fue de 566,5 kg/ha (Tabla 6), superior a la cantidad recomendada en la fertilización por Prats (1970) y Fink (1985) y similar a la reflejada por Maroto y Pascual, 1991; Lorenz y Maynard (1980) y Barbieri (1989). De la cantidad total absorbida, las hojas acumularon el 17,8 %, los frutos el 75,1 % y los tallos el 7,1 % (Tabla 6). Respecto a otros cultivos, las cantidades absorbidas de potasio por el apio fueron similares a las del tomate y pimiento grueso (Rincón *et al.*, 1990, 1995) e inferiores a las del melón (Pellicer *et al.*, 1997, 1999; Rincón *et al.*, 1997). La KUR más alta se alcanzó en el período de mayor FGR y la SKAR más elevada en las primeras fases vegetativas después del trasplante (Tabla 6).

Tabla 6
Acumulación y distribución de potasio en hojas, pecíolos y tallos.
Absorción periódica y acumulación específica de potasio en apio

Días después del trasplante	K total (kg/ha)	K distribución (% del total)			Intervalo (días)	KUR	SKAR
		Hojas	Pecíolos	Tallos			
0	1,8 ± 0,4	37,7 ± 4,2	62,3 ± 5,2	–	0-30	0,6 ± 0,1	12,9 ± 10,0
30	17,9 ± 1,2	23,1 ± 3,1	76,9 ± 4,6	–	30-44	4,2 ± 0,7	9,2 ± 2,8
44	59,1 ± 3,2	28,1 ± 3,2	58,8 ± 5,7	13,1 ± 0,4	44-58	8,8 ± 0,9	4,1 ± 0,4
58	143,6 ± 19,6	18,1 ± 2,1	67,7 ± 3,3	14,2 ± 0,8	58-72	7,9 ± 1,3	1,8 ± 0,6
72	241,4 ± 21,4	17,3 ± 1,2	69,4 ± 5,4	13,3 ± 1,3	72-86	6,9 ± 1,4	1,3 ± 0,2
86	337,2 ± 34,3	16,2 ± 1,9	72,6 ± 3,7	11,2 ± 0,9	86-100	5,0 ± 1,8	0,6 ± 0,4
100	432,1 ± 29,0	16,9 ± 0,9	72,6 ± 4,9	10,5 ± 1,2	100-114	5,5 ± 1,3	0,2 ± 0,3
114	518,6 ± 32,6	17,7 ± 0,8	73,2 ± 8,8	9,1 ± 1,6	114-128	0,7 ± 0,1	0,4 ± 0,2
128	566,5 ± 47,8	17,8 ± 1,3	75,1 ± 5,6	7,1 ± 0,8			

Calcio y magnesio

Las hojas fueron los órganos de mayor concentración de calcio y magnesio durante todo el ciclo de cultivo, presentando los pecíolos (pencas) y los tallos los porcentajes más bajos (Fig. 1). Las concentraciones sobre materia seca de las hojas en el período medio del ciclo de cultivo fue del 3,1 % de calcio y del 0,7 % de magnesio, valores considerados como suficientes (Mills y Jones, 1996). Las cantidades totales absorbidas por el cultivo fue-

ron de 147,1 kg/ha del calcio y 39,0 kg/ha del magnesio, contribuyendo las hojas con el 55,2 % de calcio, el 47,2 % de magnesio, los pecíolos con el 40,1 % de Ca y el 45,7 % de Mg y los tallos con el 4,7 de Ca y el 7,1 de Mg (Tablas 7 y 8). Las cantidades absorbidas fueron similares a las cantidades recomendadas por Odet y Musard (1988) en la fertilización del apio. Las velocidades más altas de absorción de calcio (CaUR) y magnesio (MgUR) se produjeron en periodos donde el LGR y FGR son máximos (44-72 días después del trasplante) y la mayor acumulación específica (SCaAR y SMgAR) en el desarrollo vegetativo inicial después del trasplante (0-30 días después del trasplante) (Tablas 7 y 8).

Tabla 7

**Acumulación y distribución de calcio en hojas, pecíolos y tallos.
Absorción periódica y acumulación específica de calcio en apio**

Días después del trasplante	Ca total (kg/ha)	Ca distribution (% del total)			Intervalo (días)	CaUR	SCaAR
		Hojas	Pecíolos	Tallos			
0	0,6 ± 0,1	71,0 ± 3,8	29,0 ± 1,8		0-30	0,1 ± 0,2	0,5 ± 0,0
30	3,6 ± 0,5	71,0 ± 5,9	29,0 ± 2,1		30-44	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1
44	18,4 ± 1,7	71,0 ± 6,2	20,4 ± 1,4	8,6 ± 0,9	44-58	1,3 ± 0,6	0,6 ± 0,3
58	35,2 ± 2,7	69,4 ± 7,1	23,2 ± 1,6	7,4 ± 0,4	58-72	1,7 ± 0,7	0,5 ± 0,2
72	59,6 ± 4,8	63,1 ± 5,0	29,6 ± 2,4	7,3 ± 0,3	72-86	1,7 ± 0,6	0,3 ± 0,1
86	83,5 ± 6,6	64,8 ± 4,9	29,1 ± 1,7	6,1 ± 0,7	86-100	1,9 ± 0,5	0,2 ± 0,1
100	110,5 ± 12,6	62,4 ± 4,8	32,0 ± 1,0	5,6 ± 0,5	100-114	1,5 ± 0,8	0,2 ± 0,1
114	132,2 ± 10,5	55,1 ± 4,9	39,9 ± 1,6	5,0 ± 0,6	114-128	1,1 ± 0,9	0,2 ± 0,1
128	147,1 ± 12,8	55,2 ± 3,6	40,1 ± 2,7	4,7 ± 0,3			

Tabla 8

**Acumulación y distribución de magnesio en hojas, pecíolos y tallos.
Absorción periódica y acumulación específica de magnesio en apio**

Días después del trasplante	Mg total (kg/ha)	Mg distribution (% del total)			Intervalo (días)	MgUR	SMgAR
		Hojas	Pecíolos	Tallos			
0	0,2 ± 0,0	47,6 ± 3,2	52,4 ± 3,0		0-30	0,1 ± 0,0	0,5 ± 0,0
30	3,4 ± 0,4	62,9 ± 4,3	37,1 ± 2,1		30-44	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,1
44	6,5 ± 0,8	60,0 ± 3,7	29,0 ± 1,5	11,0 ± 0,6	44-58	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1
58	13,5 ± 1,3	53,2 ± 4,1	37,0 ± 1,6	9,8 ± 0,5	58-72	0,4 ± 0,1	0,1 ± 0,0
72	20,5 ± 2,7	49,8 ± 3,0	40,9 ± 3,1	9,3 ± 0,4	72-86	0,4 ± 0,1	0,1 ± 0,0
86	26,2 ± 2,0	42,4 ± 2,9	49,9 ± 5,1	7,7 ± 1,1	86-100	0,3 ± 0,1	0,0 ± 0,0
100	31,3 ± 2,7	46,2 ± 2,5	46,0 ± 2,4	7,8 ± 0,9	100-114	0,6 ± 0,1	0,1 ± 0,0
114	38,2 ± 4,6	40,2 ± 1,8	52,6 ± 3,8	7,2 ± 0,7	114-128	0,1 ± 0,2	0,0 ± 0,0
128	39,0 ± 3,4	47,2 ± 2,7	45,7 ± 3,3	7,1 ± 0,5			

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) por su financiación al Proyecto SC95 - 026.

SUMMARY

Vegetative growth and nutrients absorption in celery under fertigation

The vegetative growth and the absorption of nutrients in celery (*Apium graveolens* L.) cv. Istar under fertigation with 12 plants per m² were evaluated. Plants were sampled, separated as leaves, petioles and stems, dried and weighed, and the macronutrient content was analysed every 14 days. Sampling was carried out over a period of 128 days after transplanting and during this time 90 t ha⁻¹ of commercial shoots were harvested. The total amount of dry matter produced was 10 t ha⁻¹ divided as: leaves 25.7 %, petioles 65.6 %, and stems 8.7 %. The leaf area index was 8.6 at 128 days after transplanting, and the highest leaf efficiency, expressed as net assimilation rate, was obtained between days 0 and 30 after transplanting. The maximum growth rate occurred between days 44 and 72 after transplanting. Leaf growth rate increased until 72 days after transplanting. The highest shoot growth rate occurred between days 58 and 72 after transplanting. The total amount of nutrients absorbed by the crop during the sampling period were in kg.ha⁻¹: 311.1 of N, 37.1 of P, 566.5 of K, 147.1 of Ca and 39.0 of Mg. The highest percentages of N, P and K were stored in the petioles while Ca and Mg were stored in the leaves.

Key words: *Apium graveolens*, biomass, uptake, concentration, fertilization, drip irrigation.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIERI G., 1989. La coltura precoce e forzata del sedano. *Culture Protette* 2, 53-55.
- BAR-YOSEF B., 1986. Fertigation as a technique to optimize crop yield with special reference to vegetables. *Proceedings of the third International Conference of Irrigation*. Tel-Aviv, pp. 87-97.
- CHAPMAN H.D., PRATT P.F., 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas, 195 pp.
- CORNILLON P., 1974. Croissance et développement du piment doux sous serre. *Pep. Hort. Mar.* 148, 41-51.
- DERMYTTENAERE P., HOFMAN G., VULSTEK G., 1990. The influence of available nitrate nitrogen in the soil profile on the nitrate contents of blanching celery. *Plant Nutrition*, 747-751.
- DUFAULT JR., 1985. Relationship among nitrogen, phosphorus and potassium fertility regimes on celery transplant growth. *HortScience* 20(6), 1104-1106.
- FEIGIN O.A., LETEY J., JARREL W., 1982. Celery response to tipe, amount and method of N fertilizer application under drip irrigation. *Agron. J.* 74, 971-977.
- FINK A., 1985. Fertilizantes y fertilización. *Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. Ed. Reverté S.A. Barcelona. 439 pp.
- FRANCOIS L.E., WEST D.W., 1982. Reduction in yield and market quality of celery caused by soil salinity. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 107 (6), 952-954.
- HELRICH K., 1990. Official methods of análisis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC). Edit. AOAC. 1.297 pp.
- LORENZ O.A., MAYNARD D.N., 1980. *Knott's handbook for vegetable growers*. Wiley-Interscience-New York. 390 pp.
- MAROTO J.V., PASCUAL B., 1991. *El Apio. Técnicas de Cultivo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 108 pp.
- MATICIC B., AVBELJ L., FEHES M., 1992. The potential impact of irrigation/drainage and nitrogen fertilization on environmentally sound and antitoxic food production. *Proceedings of the 16th European Regional Conference vol 2*, pp. 185-195.
- MILLS H.A., JONES B. J., 1996. *Plant analysis. Handbook II*. Micro Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia 30607 USA. 422 pp.
- ODET J., MUSARD M., 1989. *Mémento fertilisation des cultures légumières*. CTIFL. Paris.

- PELLICER C., PÉREZ A., RINCÓN L., SÁEZ J., ABADÍA A., 1999. Influencia de la fertilización fosfórica en el crecimiento y absorción de nutrientes de un cultivo de melón. *Actas de Horticultura* 26, 393-400.
- PELLICER C., RINCÓN L., PÉREZ A., SÁEZ J., GÓMEZ M.D., 1997. Influencia de la fertilización potásica en el crecimiento y productividad del melón. *Actas de Horticultura* 19, 263-271.
- PRATS J., 1970. *La fertilisation raisonnée*. Ed. Ministère d'Agriculture (2.^a ed.). París. 93 pp.
- RINCÓN L., BALSALOBRE E., SÁEZ J., MADRID R., 1991. Extracción de macronutrientes en lechuga iceberg. II Congreso Nacional de Fertirrigación, pp. 213-220.
- RINCÓN L., PELLICER C., SÁEZ J., BALSALOBRE E., 1990. Extracción de macronutrientes en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de crecimiento indeterminado. *Actas del II Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas*. Lisboa, junio. Vol. I, pp. 213-218.
- RINCÓN L., SÁEZ J., BALSALOBRE E., PELLICER C., 1995. Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 10 (1), 47-59.
- RINCÓN L., SÁEZ J., PÉREZ A., GÓMEZ M.D., PELLICER C., 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 14 (1-2), 225-236.
- RINCÓN L., SÁEZ J., PÉREZ A., PELLICER C., ABADÍA A., MARÍN C., 2001. Crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes de la coliflor. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 16 (1), 119-130.
- RINCÓN L., SÁEZ J., PÉREZ A., PELLICER C., GÓMEZ M.D., 1997. Crecimiento y absorción de nutrientes de melón bajo invernadero. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 13 (1-2), 111-120.
- RINCÓN, L., PÉREZ, A., PELLICER, C., SÁEZ J. 1998. Crecimiento y absorción de nutrientes de la alcachofa. *Actas de Horticultura* 26, 326-332.
- SÁNCHEZ C.A., BURDINE H.W., GUZMAN W.L., 1990. Soil testing and plant analysis as guides for the fertilization of celery on histosols. *Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida* 49, pp. 69-72.
- SANTAMARÍA P., ELIA A., SERIO F., GONELLA M., PARENTE A., 1999. Comparison between nitrate and ammonium nutrition in fennel, celery and swiss chard. *Journal of Plant Nutrition* 22 (7), 1091-1106.
- TREMBLAY N., GOSSELIN A., 1989a. Growth and nutrient status of celery seedlings in response to nitrogen fertilization and $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ ratio. *HortScience* 24 (2), 284-288.
- TREMBLAY N., GOSSELIN A., 1989b. Growth, nutrient status and yield of celery seedlings in response to urea fertilization. *HortScience* 24 (2), 288-291.
- TREMBLAY N., SENEAL M. 1990. Effects du mode d'irrigation et du contenu en vrée de la solution fertilisante sur les caractéristiques des jeunes plants de brocoli, céleri et laitue. *Agronomie* 10, 15-21.
- TREMBLAY N., YELLE S., GOSSELIN A., 1987. Effects of CO_2 enrichment, nitrogen and phosphorus fertilization on growth and yield of celery transplants. *HortScience* 22 (5), 875-876.
- VILLAERT G., VERLOO M., VULSTEKE G., 1990. Influence of the cultivar on the mineral composition of celery, celeriac and scorzonera. *Landbouwtijdschrift. Revue de l'Agriculture* 43(4), 599-615.
- ZINK F., YAMAGUCHI M., 1962. Studies on the growth rate and nutrient absorption of head lettuce. *Hilgardia* 32 (11), 472-512.
- ZUANG H., 1982. *La fertilisation des cultures légumières*. CTIFL. París. 395 pp.