

RENDIMIENTO, MATERIA SECA Y ABSORCIÓN DE FÓSFORO DEL CULTIVO DE PAPA BAJO FERTIRIEGO POR GOTEO

J. L. Aguilar-Acuña¹; J. Martínez-Hernández²; V. Volke-Haller²; J. Etchevers-Barra²; O. A. Grajeda-Cabrera¹; E. Solís-Moya¹

¹Campo Experimental Bajío, INIFAP, km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende, Celaya, Guanajuato, MÉXICO. Tel. (461) 611-53-23 ext. 130, Correo-e: jlaguilar_acuna@yahoo.com.mx; jlaguilar103@hotmail.com (*Autor responsable).

²Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

RESUMEN

Se estudió la respuesta del cultivo de papa 'Montserrat', en un suelo aridosol al fertiriego por goteo superficial (FS) y subsuperficial (FSS) en invernadero, en cuanto a: rendimiento, materia seca (MS), y tasa de acumulación (TAMS), absorción de fósforo (AP) y su tasa de absorción (TAP) en la parte aérea de la planta (hojas y tallos), raíz y tubérculos. Se realizaron cinco muestreos destructivos de toda la planta a los 24, 37, 47, 59 y 72 días después de la emergencia (DDE). Sólo en raíz se presentó diferencia significativa entre FS y FSS en cuanto a MS y AP. Aun cuando la planta de papa siguió acumulando MS a través del tiempo, la mayor TAMS promedio de los sistemas de fertiriego ocurrió a los 37 DDE para la parte aérea y raíz con 4.08 y 0.113 g-planta⁻¹·día⁻¹, respectivamente, etapa en que inició la tuberización. Para el tubérculo fue hasta los 72 DDE con 7.99 g-planta⁻¹·día⁻¹, y un rendimiento en fresco de 897 g-planta⁻¹. AP sólo tuvo diferencias significativas en la raíz entre sistemas de fertiriego. En la parte aérea y raíz, AP tuvo tendencia creciente para luego disminuir durante el ciclo de crecimiento, en el tubérculo siempre fue con tendencia creciente. La mayor TAP para la parte aérea y raíz ocurrió a los 37 DDE, en el tubérculo hasta los 72 DDE con 0.022 g-planta⁻¹·día⁻¹ de fósforo, resultando en el principal demandante de asimilados y de fósforo, por lo que cualquiera de los sistemas de fertiriego puede utilizarse para producir papa.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum tuberosum* L., tasa de acumulación de materia seca, dinámica del fósforo, tasa de absorción de fósforo, demanda de fósforo.

YIELD, DRY MATTER, AND ABSORPTION OF PHOSPHOROUS IN POTATO GROWN UNDER DRIP FERTIRRIGATION

ABSTRACT

It was studied the response of potato 'Montserrat' in an aridosol soil to surface (SF) and sub-surface (FSS) drip fertirrigation in the greenhouse in terms of: yield, dry matter (MS) and its accumulation (TAMS), phosphorous absorption (AP) and phosphorous absorption rate (TAP) in the aerial portion of the plant (leaves and stems), root and tubers. Five plant-destructing samplings were made at 24, 37, 47, 59, and 72 days after emergence (DDE). Only the root showed significant differences for FS and FSS regarding MS and AP. Even when the plant of potato kept accumulating MS through time, the highest average TAMS for fertirrigation systems happened at 37 DDE for the aerial part and root with 4.08 and 0.113 g-plant⁻¹·day⁻¹, respectively, the stage at which tuberization started. The highest TAMS for the tuber was at 72 DDE with 7.99 g-plant⁻¹·day⁻¹ and a fresh yield of 897 g-plant⁻¹. AP showed significant differences between fertirrigation systems for the root only. In the aerial part and the root, AP had an increasing tendency that later decreased during the growth cycle, the tuber only showed and increasing tendency. The highest TAP for the aerial part and the root occurred at 37 DDE, in the tuber at 72 DDE with 0.022 g-plant⁻¹·day⁻¹ of phosphorous, the former resulted in the main sink for assimilates and phosphorous; thus, any fertirrigation system may be used to produce potato.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Solanum tuberosum* L., dry matter accumulation rate, phosphorous dynamics, phosphorous absorption rate, phosphorous demand.

INTRODUCCIÓN

Después del cultivo de tomate, la papa (*Solanum tuberosum* L.) ocupa el segundo lugar entre las hortalizas

en México (Hurtado, 1995). En el año 2000, en México se cosecharon 63 mil 137 hectáreas de papa y se produjeron 1.32 millones de toneladas (INEGI, 2001). La papa junto

con el arroz, trigo y maíz, constituyen los cuatro cultivos básicos más importantes para la alimentación humana (Niederhauser, 1997).

El rendimiento promedio de papa en México ($21 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) es muy inferior al de países desarrollados como Holanda ($37 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), EE.UU. ($35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y Canadá ($27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Rubio, 1997). Diversos factores de suelo, clima y manejo están relacionados con este bajo rendimiento. El fósforo es un importante factor edáfico que limita el rendimiento de la papa (Manrique, 1993) cuando no se encuentra en concentración adecuada y en forma disponible. Los suelos en el centro y norte del país son, por lo general, alcalinos, y presentan altos contenidos de calcio, elemento que reacciona con el fósforo provocando su precipitación y disminuyendo su disponibilidad para las plantas (Tisdale *et al.*, 1993).

La fertilización y el riego por goteo simultáneos (fertiriego), son los factores de manejo controlables más importantes durante el desarrollo de la planta, para influir en el rendimiento y la calidad del producto, además de suministrar constantemente, durante el ciclo de crecimiento, la cantidad de agua, los nutrientes (Phene y Howell, 1984) y en particular el fertilizante fosfórico soluble en la zona radical del cultivo de papa con baja densidad radical (Vos y Groenwold, 1986), reduciéndose la reacción del fósforo con el calcio, su probable precipitación y deficiencia en la planta (Bar-Yosef, 1999). Sin embargo, altos requerimientos de mano de obra y de energía para distribuir y recoger las líneas de goteo superficial en cada ciclo de cultivo y el deterioro de las mismas ocasionado por la exposición a la radiación solar, animales y maquinaria pesada, limitan su expansión. Estos problemas pueden evitarse mediante la colocación subsuperficial de las líneas laterales a una profundidad adecuada, ya que esto permite suministrar los nutrientes en el centro del sistema radical, donde el contenido de humedad es relativamente alto y constante o frecuente en el tiempo (Phene y Howell, 1984), la actividad radical es máxima y su crecimiento es más profundo en comparación con el fertiriego superficial (Martínez *et al.*, 1991). Se han reportado estudios de fertiriego superficial en el cultivo de papa en suelos vertisoles (Papadopoulos, 1992), pero hasta la fecha no hay información sobre papa atendida con fertiriego subsuperficial en suelos aridosoles. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta del cultivo de papa al fertiriego por goteo superficial y subsuperficial en invernadero en cuanto a rendimiento, materia seca, absorción y tasa de absorción de fósforo a través del ciclo de crecimiento, en un suelo alcalino aridosol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento del 13 de agosto al 3 de noviembre de 1998 en el invernadero del Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgraduados, ubicado en Salinas

de Hidalgo, San Luis Potosí, México, a 2070 m de altitud. Se utilizó un suelo aridosol (Soil Survey Staff, 1995), de textura media, con presencia de carbonatos (fase física petrocálcica). El suelo se caracterizó por tener 28 % de arcilla y 52 % de arena, densidad aparente de $1.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$; pH de 7.9; conductividad eléctrica de $0.88 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; 3.1 % de materia orgánica; 0.14 % de N_{total} ; $17 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P Olsen asimilable; 1.03, 8.30, 4.80 y $1.67 \text{ meq}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de K, Ca, Mg, Na, (en acetato de amonio); 3, 3, 4, y $22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Fe, Cu, Zn y Mn, respectivamente. El agua de riego utilizado tuvo las siguientes características: pH de 7.6, conductividad eléctrica de $1.85 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en 5.7, 0.52, 6.23 y $2.01 \text{ meq}\cdot\text{litro}^{-1}$, respectivamente; aniones CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} en 0.00, 3.9, 8.2 y $4.37 \text{ meq}\cdot\text{litro}^{-1}$, respectivamente.

Los tratamientos estudiados correspondieron a dos sistemas de fertiriego por goteo superficial (S) y goteo subsuperficial (SS); en este último, el gotero o emisor se enterró a 20 cm de profundidad, cada tratamiento se repitió diez veces. Los tratamientos se establecieron con el diseño experimental de bloques completos al azar; la unidad experimental constó de un contenedor de cartón de 0.5 m de ancho x 0.5 m de largo x 0.6 m de alto, revestido en el interior con plástico negro, con una planta de papa por contenedor.

El sistema de fertiriego utilizado consistió de un tablero de control automático, para controlar el tiempo y número de riego, una bomba eléctrica que bombeó la solución nutritiva de un depósito con capacidad de 70 litros, y la distribuyó por la línea principal de PVC, con diámetro externo de 2 cm. De la línea principal se conectó un tubo de 3 mm de diámetro interno, al final del cual se insertó un gotero autocompensante con un gasto de $6 \text{ litros}\cdot\text{h}^{-1}$. El gotero se colocó superficial o subsuperficial en el centro de cada contenedor.

Un día antes de la siembra se aplicó una fertilización basal o de fondo al suelo, para proporcionar una concentración nutrimental mínima que le permita a la planta la absorción durante la etapa inicial mientras arraiga (Bar-Yosef, 1999) y como reserva de nutrientes que cubran deficiencias en el fertiriego (Cadahia, 2000). La cantidad de fertilización basal utilizada fue equivalente a 60 - 44 - 50 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P y K, respectivamente, a una profundidad de 12 cm, y corresponden al 30, 15 y 12 % de la dosis total de N, P y K, respectivamente. Se utilizaron tres fuentes de fertilizante órgano - mineral con concentraciones de 16-2-5, 2-18-5 y 9-6-12 % de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Se utilizó el cv. Montserrat, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), precoz y resistente al tizón tardío (*Phytophthora infestans* M de B). Se sembró un tubérculo de 60 g de peso, con tres brotes de 2 cm de largo, en el centro de cada contenedor, a una profundidad de 10 cm. La emergencia ocurrió a los 10 días después de la siembra (DDS).

El fertiriego S y SS se inició a partir del día 10 después de la emergencia (DDE), con concentraciones de N, P y K que variaron entre intervalos de tiempo tratando de ajustarlo a la demanda nutrimental del cultivo (Cuadro 1). No hubo variación en la fertilización aplicada en los dos tratamientos de fertiriego.

CUADRO 1. Cantidades de N, P y K aplicadas durante el período de crecimiento de papa con fertiriego por goteo, superficial y subsuperficial.

Intervalo Fecha ^a	DDE	Concentración		
		N (mg·litro ⁻¹)	P (ml·litro ⁻¹)	K (mg·litro ⁻¹)
02/09 a 17/09	10 a 25	50	30	75
18/09 a 30/09	26 a 38	100	60	150
01/10 a 09/10	39 a 47	150	60	200
10/10 a 25/10	48 a 63	150	60	250
26/10 a 28/10	64 a 66	100	60	200

^aDía y mes.

DDE: día después de la emergencia.

En el intervalo 10 a 25 DDE se aplicó la menor cantidad de N, P y K, ya que es cuando la planta tiene un lento crecimiento y poca demanda nutrimental. Después de los 26 DDE se estabilizó la cantidad de P, mientras que N y K se incrementaron con el tiempo hasta un máximo, para después disminuir. Con estas cantidades, Papadopoulos (1992) ha cubierto las demandas del cultivo y obtenido los máximos rendimientos en suelos vertisoles.

Para los tratamientos de fertiriego se utilizaron los siguientes fertilizantes solubles: nitrato de amonio (33.5 % N), nitrato de potasio (12 % N y 36.52 % K) y ácido fosfórico al 85 % de concentración de H₃PO₄.

Se realizaron cinco muestreos destructivos de plantas a los 24, 37, 47, 59 y 72 DDE. En cada muestreo se tomó una planta completa de dos repeticiones y de cada tratamiento, la cual se separó en los órganos tallo, hojas (que conformaron la parte aérea), raíz y tubérculos, no se consideraron las inflorescencias porque se eliminaron cuando aparecieron. Las raíces más estolones (tallo lateral y subterráneo donde se forma el tubérculo) y tubérculos se lavaron con agua para separarlos del suelo, se usaron tamices metálicos de malla 20 para recuperar las raíces y estolones durante el lavado. Cada órgano se secó en estufa con circulación de aire forzado durante 72 h a 65 °C. Una vez obtenido el peso seco de cada órgano de la planta, el material se molió en un molino Wiley (cuchillas de acero inoxidable) y se pasó a través de un tamiz metálico de malla 20. El contenido de fósforo en el tejido vegetal se analizó mediante digestión húmeda de las muestras con una mezcla triácida (ácido nítrico, perclórico y sulfúrico) (Jones *et al.*, 1991); y se determinó fósforo por colorimetría con vanadato molibdato (Alcántar y Sandoval, 1999).

Con el peso de la materia seca y la concentración de fósforo se determinó la absorción de fósforo en la parte aérea, raíz y tubérculos en cinco etapas de crecimiento de la planta. Se utilizó la variable tasa de acumulación de materia seca (TAMS) y la tasa de absorción de fósforo (TAP) para determinar en qué etapa ocurre la mayor acumulación de materia seca y mayor absorción de fósforo en g·planta⁻¹·día⁻¹ (Brewster *et al.*, 1976), expresada como: TAMS o TAP = (A₂ - A₁) / (t₂ - t₁), donde: (A₂ - A₁) es la diferencia de acumulación de materia seca o de absorción de fósforo entre dos muestreos y (t₂ - t₁) es el intervalo de días entre dos muestreos consecutivos.

Los análisis de varianza, pruebas de comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$) y correlaciones se ejecutaron con el programa Statistical Analysis System (SAS, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca

La acumulación de materia seca (MS) en la parte aérea (hojas y tallos) de la planta de papa tuvo un comportamiento similar entre los sistemas de fertiriego durante el ciclo de crecimiento (Cuadro 2), aunque a los 72 DDE, MS resultó estadísticamente mayor con fertiriego por goteo subsuperficial (FSS) que por goteo superficial (FS), 99.7 y 82.7 g·planta⁻¹, respectivamente. Después de los 59 DDE, con FS la MS de la parte aérea comenzó a disminuir, lo cual se atribuye al transporte de asimilados hacia los tubérculos (Harris, 1978; McCollum, 1978). Esto coincide con Asfary *et al.* (1983), quienes encontraron que después de 63 DDE hubo pérdida del peso foliar. En cambio, con FSS la materia seca siguió acumulándose.

Así mismo, la parte aérea tuvo su máximo crecimiento a los 37 DDE con 4.08 g·planta⁻¹·día⁻¹, etapa que coincidió con el inicio de la tuberización. Como referencia se tiene que Asfary *et al.* (1983) obtuvieron TAMS de 1.1 g·planta⁻¹·día⁻¹ a los 42 DDE. El valor negativo obtenido a los 72 DDE en el tratamiento FS (Cuadro 2), se debe a que en ese intervalo la parte aérea tuvo menor peso con respecto al muestreo anterior, por el transporte de los asimilados hacia los tubérculos como lo refirieron Harris (1978) y McCollum (1978); en cambio, en el tratamiento FSS no se tuvieron valores negativos (Cuadro 2), y por lo tanto, la parte aérea seguía acumulando MS.

Hasta los 59 DDE, la tendencia de la raíz en acumular MS fue similar entre tratamientos de fertiriego; después de esa etapa, y con el tratamiento FSS, la raíz acumuló mayor cantidad de MS que con el tratamiento FS. Aun cuando la raíz seguía acumulando materia seca durante el ciclo de crecimiento, la mayor TAMS ocurrió a los 37 DDE, al igual que la parte aérea de la planta, sin diferencias estadísticas entre tratamientos de fertiriego y con una tasa promedio

CUADRO 2. Acumulación y tasa de acumulación de materia seca por parte de la planta de papa 'Montserrat' a través del tiempo bajo dos sistemas de fertiriego.

Parte	DDE	Acumulación de Materia Seca (g-planta ⁻¹)			Tasa de Acumulación de Materia Seca (g-planta ⁻¹ ·día ⁻¹)		
		Fertiriego (F)		Promedio	Fertiriego (F)		Promedio
		FS	FSS		FS	FSS	
Parte aérea (hojas+tallo)	24	20.6 d ^y	14.7 d ^y	17.65 d ^z	0.86 bc ^y	0.61 c ^y	0.74 b ^z
	37	69.6 c	71.8 c	70.70 c	3.77 a	4.90 a	4.08 a
	47	88.4 ab	77.2 bc	82.80 b	1.88 b	0.54 c	1.21 b
	59	96.4 a	88.7 ab	92.55 a	0.67 c	0.96 bc	0.82 b
	72	82.7 bc	99.7 a	91.20 a	-1.05 c	0.84 bc	-0.11 c
Promedio Fertiriego		71.5 a ^x	70.4 a ^x		1.23 a ^x	1.45 a ^x	
DMSH		3.8	13.6	8.0	0.32	1.14	0.67
Raíz	24	0.4 e ^y	0.3 e ^y	0.35 d ^z	0.015 c ^y	0.013 c ^y	0.014 c ^z
	37	1.9 cd	1.7 d	1.80 c	0.119 a	0.108 a	0.113 a
	47	2.2 bc	2.5 b	2.35 b	0.030 b	0.080 ab	0.055 b
	59	2.4 bc	2.7 ab	2.55 b	0.017 c	0.017 c	0.017 c
	72	2.6 b	3.2 a	2.90 a	0.015 c	0.035 bc	0.025 bc
Promedio Fertiriego		1.9 b ^x	2.1 a ^x		0.039 a ^x	0.050 a ^x	
DMSH	0.16	0.57	0.33	0.016	0.056	0.033	
Tubérculo	37	0.3 c ^y	2.4 c ^y	1.35 c ^z	0.02 b ^y	0.18 b ^y	0.10 c ^z
	47	20.1 c	16.2 c	18.15 c	1.98 b	1.38 b	1.68 c
	59	88.9 b	72.2 b	80.55 b	5.73 a	4.67 a	5.20 b
	72	194.9 a	174.0 a	184.45 a	8.15 a	7.83 a	7.99 a
Promedio Fertiriego		76.1 a ^x	66.2 a ^x		3.97 a ^x	3.52 a ^x	
DMSH	0.16	42.4	24.2		0.97	3.40	1.93
Planta Completa	24	20.9 d ^y	15.0 d ^y	17.95 e ^z	0.87 ef ^y	0.62 f ^y	0.75 d ^z
	37	71.8 c	75.9 c	73.85 d	3.91 cde	4.68 bcd	4.30 bc
	47	110.7 c	95.9 c	103.30 c	3.89 cde	2.00 def	2.95 cd
	59	187.7 b	163.6 b	175.65 b	6.42 ab	5.65 abcd	6.04 ab
	72	280.2 a	276.8 a	278.50 a	7.12 ab	8.71 a	7.91 a
Promedio Fertiriego		134.2 a ^x	125.4 a ^x		4.44 a ^x	4.33 a ^x	
DMSH		10.9	39.2	23.0	0.90	3.23	1.90

DDE: días después de la emergencia; FS y FSS: fertiriego por goteo superficial y subsuperficial, respectivamente; DMS: diferencia mínima significativa honesta.

^yValores con la misma letra dentro de la columna de DDE son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.^xValores con la misma letra dentro y entre columnas de FS y FSS son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.^zValores con la misma letra entre columnas para el promedio de fertiriego son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

de 0.113 g-planta⁻¹·día⁻¹. La disminución en la TAMS obtenida tanto en la parte aérea como en la raíz, posterior a los 37 DDE puede indicar que los asimilados se transportaron a los tubérculos según Harris (1978) y McCollum (1978).

La acumulación de MS en los tubérculos mostró una tendencia creciente y similar entre sistemas de fertiriego a través del tiempo, sin diferencias significativas. Con fines prácticos esto significa que cualquiera de los dos sistemas de fertiriego se puede utilizar para producir papa.

A los 72 DDE, en promedio de los dos sistemas de fertiriego, MS fue de 184.45 g-planta⁻¹, equivalente a un índice de cosecha de 0.662; con respecto al peso seco de

la planta completa, el 66.2 % correspondió a los tubérculos. Índices de cosecha mayores a 0.6, según Rodríguez (1993) se consideran altos. En materia fresca y a los 72 DDE, el rendimiento promedio entre los dos sistemas de fertiriego del tubérculo fue de 896.85 g-planta⁻¹, equivalente a 39.86 t·ha⁻¹ con una población de 44,444 plantas·ha⁻¹. A diferencia de la parte aérea y raíz, la TAMS del tubérculo mostró la tendencia creciente de acumular materia seca durante todo el ciclo de crecimiento, convirtiéndose en el principal demandante de los asimilados de la planta. A los 72 DDE, la TAMS promedio en el tubérculo fue de 7.99 g-planta⁻¹·día⁻¹, mayor al 5.3 g-planta⁻¹·día⁻¹, reportado por Asfary *et al.* (1983) entre los 63 y 70 DDE, y a los indicados por Harris (1978) con promedios entre 3.93 a 7.89 g-planta⁻¹·día⁻¹.

La acumulación de MS en la planta completa tuvo un comportamiento creciente durante el ciclo de crecimiento sin diferencias entre tratamientos de fertiriego. En los primeros 47 DDE, la acumulación de MS fue aportada por la parte aérea y posteriormente por los tubérculos principalmente (Cuadro 2). Estas aportaciones de acumulación de MS ocasionaron que la planta tuviera dos picos modales en la TAMS promedio (Cuadro 2): uno a los 37 DDE y el segundo a los 72 DDE con tasas de 4.30 y 7.91 g-planta⁻¹·día⁻¹, respectivamente.

Absorción y tasa de absorción de fósforo

La absorción de fósforo en la parte aérea de la planta de papa resultó igual entre sistemas de fertiriego (Cuadro 3). El intervalo promedio de mayor absorción estadísticamente igual fue entre 37 y 59 DDE, de 0.375 a 0.335 g-planta⁻¹. Sin embargo, a los 37 DDE la parte aérea tuvo la mayor TAP con un promedio de 0.018 g-planta⁻¹·día⁻¹, que coincide con la mayor TAMS ($r=0.91^{***}$ entre variables). Los valores negativos de la TAP (Cuadro 3) sugieren que el fósforo se transportó a los tubérculos (Harris, 1978).

La mayor TAP en la raíz también ocurrió a los 37 DDE en los tratamientos FS y FSS con 0.0003 y 0.0005 g-planta⁻¹·día⁻¹, respectivamente, diferentes estadísticamente. Esta mayor demanda de fósforo coincidió con el inicio de la tuberización (Figura 1).

La absorción de fósforo en el tubérculo aumentó a través del tiempo de una manera casi lineal hasta llegar a 0.594 y 0.488 g-planta⁻¹, con FS y FSS, respectivamente, sin diferencias estadísticas (Cuadro 3). Asfary *et al.* (1983) obtuvieron valores de 0.608 y 0.567 g-planta⁻¹, en dos años de estudio, y Papadopoulos (1992), llegó a registrar 0.475 y 0.675 g-planta⁻¹ con aplicaciones de 40 y 60 mg-litro⁻¹ de P, respectivamente. Con respecto a la tasa de absorción de fósforo, la mayor TAP fue de 0.022 g-planta⁻¹·día⁻¹ a los

72 DDE (Cuadro 3). Por su parte Harris (1978) indicó que la mayor TAP ocurría casi al final del ciclo, a los 100 DDE, con 0.0125 g-planta⁻¹·día⁻¹. La correlación entre TAP y TAMS fue muy estrecha y positiva entre ambas variables ($r=0.974^{***}$), lo que indica que la tasa de absorción de P y la tasa de acumulación de materia seca tienen un comportamiento similar, esta información no se ha reportado en la literatura.

La absorción promedio de fósforo en la planta completa a través del tiempo varió de 0.11 a 0.765 g-planta⁻¹ (Cuadro 3), valores muy cercanos a los obtenidos por Asfary *et al.* (1983) entre 0.09 y 0.765 g-planta⁻¹ de los 14 a los 84 DDE. La planta completa presentó una fuerte demanda de fósforo a los 37 DDE con una tasa de 0.019 g-planta⁻¹·día⁻¹, en promedio de los dos tratamientos de fertiriego y otra a los 59 y 72 DDE, cada una con 0.013 g-planta⁻¹·día⁻¹. Asfary *et al.* (1983) reportó 0.016 g-planta⁻¹·día⁻¹ entre los 28 y 42 DDE en la planta completa, ligeramente inferior a la obtenida en este estudio a los 37 DDE (Cuadro 3). Según Bester (1995), los cultivares precoces, como 'Montserrat', generalmente tienen altas tasas de absorción de nutrimentos durante las etapas tempranas de crecimiento, por lo que es importante suministrar fósforo desde la siembra (Bar-Yosef, 1999). La declinación en la tasa diaria de absorción de fósforo en la parte aérea y en la raíz, después de los 47 DDE (Cuadro 3), se pudo deber a la pérdida foliar y al transporte del fósforo hacia los tubérculos, tal como lo señaló McCollum (1978).

Con los valores de la TAP de la planta completa (promedio de los dos sistemas de fertiriego), se calculó la demanda de fósforo en diferentes intervalos de tiempo durante el ciclo de crecimiento (Cuadro 4), dando un total de 35.19 kg·ha⁻¹ de P, o 80.6 kg·ha⁻¹ de P₂O₅, considerando un rendimiento de 40 t·ha⁻¹ y una densidad de 44,444 plantas·ha⁻¹. La demanda de fósforo calculada se puede validar en parcelas comerciales que tengan riego por goteo.

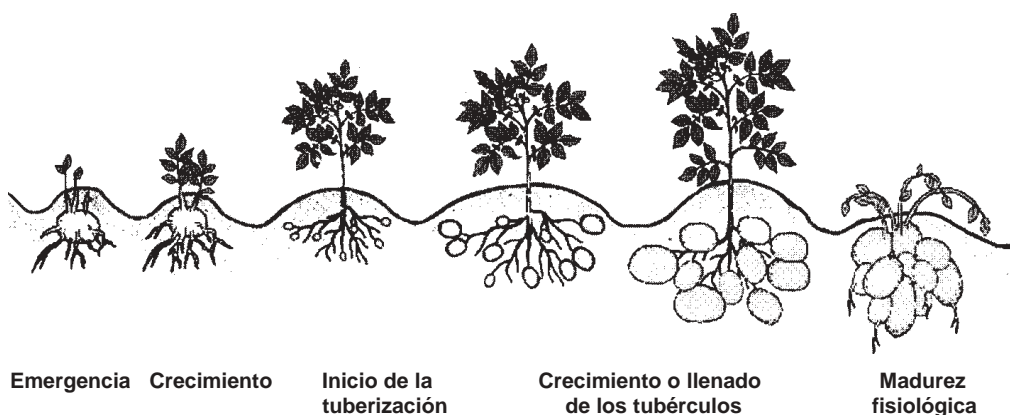


FIGURA 1. Etapas fenológicas del cultivo de papa.

CUADRO 3. Absorción y tasa de absorción de fósforo por parte de la planta de papa 'Montserrat' a través del tiempo bajo dos sistemas de fertiriego.

Parte	DDE	Absorción de Fósforo (g-planta ⁻¹)			Tasa de Absorción de Fósforo (g-planta ⁻¹ ·día ⁻¹)		
		Fertiriego (F)		Promedio	Fertiriego (F)		Promedio
		FS	FSS		FS	FSS	
Parte aérea (hojas+tallo)	24	0.13 d ^y	0.09 d ^y	0.110 c ^z	0.0050 b ^y	0.0040 b ^y	0.0046 b ^z
	37	0.33 ab	0.37 ab	0.350 a	0.0150 a	0.0220 a	0.0180 a
	47	0.39 a	0.36 ab	0.375 a	0.0060 b	-0.0010 b	0.0025 b
	59	0.34 ab	0.33 ab	0.335 a	-0.0042 b	-0.0025 b	-0.0034 b
	72	0.16 cd	0.26 bc	0.210 b	-0.0138 c	-0.0054 b	-0.0096 b
Promedio Fertiriego		0.27 a ^x	0.28 a ^x		0.0090 b ^x	0.0170 a ^x	
DMSH		0.03	0.11	0.07	0.0024	0.0087	0.0051
Raíz	24	0.0014 d ^y	0.0014 d ^y	0.0014 c ^z	0.00006 b ^y	0.00006 b ^y	0.00006 c ^z
	37	0.0058 c	0.0078 b	0.0068 b	0.0003 b	0.00050 a	0.00040 a
	47	0.0078 bc	0.0098 ab	0.0088 a	0.0002 b	0.00020 b	0.00020 b
	59	0.0085 ab	0.0112 a	0.0099 a	0.00006 b	0.00010 b	0.00009 c
	72	0.0090 ab	0.0090 ab	0.0090 a	0.00004 b	-0.00070 b	-0.00007 d
Promedio Fertiriego		0.0065 b ^x	0.0078 a ^x		0.0001 a ^x	0.0001 a ^x	
DMSH		0.00077	0.0027	0.0017	0.000036	0.00013	0.000075
Tubérculo	37	0.001 c ^y	0.010 c ^y	0.0055 d ^z	0.00009 c ^y	0.0008 c ^y	0.0004 d ^z
	47	0.071 c	0.069 c	0.0700 c	0.0070 b	0.0060 b	0.0060 c
	59	0.283 b	0.231 b	0.2570 b	0.0180 ab	0.0140 a	0.0160 b
	72	0.594 a	0.488 a	0.5410 a	0.0240 a	0.0200 a	0.0220 a
Promedio Fertiriego		0.237 a ^x	0.199 a ^x		0.0120 a ^x	0.0100 a ^x	
DMSH		0.044	0.154	0.087	0.0035	0.012	0.007
Planta Completa	24	0.13 de ^y	0.09 e ^y	0.110 d ^z	0.006 b ^y	0.004 b ^y	0.005 b ^z
	37	0.33 cd	0.39 c	0.360 c	0.015 b	0.023 a	0.019 a
	47	0.47 bc	0.43 bc	0.450 c	0.014 ab	0.005 b	0.010 ab
	59	0.63 ab	0.57 abc	0.600 b	0.013 ab	0.012 ab	0.013 ab
	72	0.77 a	0.76 a	0.765 a	0.011 ab	0.014 ab	0.013 ab
Promedio Fertiriego		0.47 a ^x	0.45 a ^x		0.012 a ^x	0.011 a ^x	
DMSH		0.06	0.21	0.12	0.0044	0.016	0.0093

DDE: días después de la emergencia; FS y FSS: fertirrigación por goteo superficial y subsuperficial, respectivamente; DMS: diferencia mínima significativa honesta.

^yValores con la misma letra dentro de la columna de DDE son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.^xValores con la misma letra dentro y entre columnas de FS y FSS son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.^zValores con la misma letra entre columnas para el promedio de fertiriego son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.**CUADRO 4. Demanda de fósforo en la planta completa de papa 'Montserrat' durante el ciclo de crecimiento.**

Intervalo de Tiempo en DDE	Demanda de Fósforo en kg·ha ⁻¹	
	P	P ₂ O ₅
0 a 24	5.33	12.2
25 a 37	10.98	25.1
38 a 47	4.44	10.2
48 a 59	6.93	15.9
60 a 72	7.51	17.2
Total	35.19	80.6

DDE: días después de la emergencia

Rendimiento, materia seca y...

CONCLUSIONES

La falta de diferencias significativas entre sistemas de fertiriego en cuanto a rendimiento del tubérculo, materia seca, tasa de acumulación de materia seca, absorción y tasa de absorción de fósforo en el tubérculo y planta completa, indican que se puede utilizar cualquier sistema de fertiriego para producir papa en un suelo alcalino aridosol.

LITERATURA CITADA

ALCÁNTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad

- Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 156 p.
- ASFARY, A. F.; WILD, A.; HARRIS, P. M. 1983. Growth, mineral nutrition and water use by potato crops. *J. Agric. Sci. Camb.* 100: 87-101.
- BAR-YOSEF, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65: 1-77.
- BESTER, G. G. 1995. Fertigation of potatoes in South Africa, pp. 275-286. *In: Dahlia Greidinger International Symposium on Fertigation. Technion – Israel Institute of Technology. Haifa, Israel. 26 march - 1 april, 1995.*
- BREWSTER, J. L.; BHAT, K. K. S.; NYE, P. H. 1976. The possibility of predicting solute uptake and plant growth response from independently measured soil and plant characteristic. IV. The growth and uptake of rape in solutions of different phosphorus concentration. *Plant Soil* 44: 279-293.
- CADAHIA, L. C. 2000. *Fertirrigación; Cultivos Hortícolas y Ornamentales.* 2ª edición revisada. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 475 p.
- HARRIS, P. M. 1978. Mineral nutrition, pp. 195-243. *In: The Potato Crop. The Scientific Basis for Improvement.* HARRIS, P. M. (ed). Chapman and Hall. London, UK.
- HURTADO, M. S. 1995. Biotecnología aplicada en la horticultura del Bajío. *Productores de Hortalizas* 4(4): 20-21.
- INEGI. 2001. *El Sector Alimentario en México.* INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 311 p.
- JONES, B. R. JR.; WOLF, B.; MILLS, H. A. 1991. *Plant Analysis Handbook Micro-macro.* Publishing Inc. Athens, Georgia, USA. 213 p.
- MANRIQUE, L. A. 1993. Constraints for potato production in the tropics. *J. Plant Nutrit.* 16: 2075-2120.
- MARTÍNEZ H., J. J.; BAR-YOSEF, B.; KAFKAFI, U. 1991. Effect of surface and subsurface drip fertigation on sweet corn rooting, uptake, dry matter production and yield. *Irrigation Sci.* 12: 153-159.
- McCOLLUM, R. E. 1978. Analysis of potato growth under differing P regimes. I. Tuber yields and allocation of dry matter and P. *Agron. J.* 70: 51-57.
- NIEDERHAUSER, J. 1997. La papa como un cultivo básico en la alimentación de la población mundial *In: I Simposium Internacional de la Papa: Conferencias Magistrales.* INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca, Conjunto Sedagro, 25 y 26 de agosto de 1997. Rancho San Lorenzo, Metepec, Edo. de México, México. pp. 3-4.
- PAPADOPOULOS, I. 1992. Phosphorus fertigation of trickle-irrigated potato. *Fert. Res.* 31: 9-13.
- PHENE, C. J.; HOWELL, T. A. 1984. Soil sensor control of high frequency irrigation. *Trans ASAE* 27: 392-396.
- RODRÍGUEZ S., J. 1993. *La Fertilización de los Cultivos. Un Método Racional.* Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile. 287 p.
- RUBIO C., O. 1997. Aportaciones del programa nacional de papa del INIFAP. *I Simposium Internacional de la Papa: Conferencias Magistrales.* INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Valle de Toluca, Conjunto Sedagro, 25 y 26 de agosto de 1997. Rancho San Lorenzo, Metepec, Edo. de México, México. pp. 21-30.
- SAS Institute. 1996. *Statistical Analysis System for windows version 6.12.* CD rom.
- SOIL SURVEY STAFF. 1995. *Claves para la taxonomía de suelos, versión 1994.* Traducción al español de ORTIZ-SOLORIO, C. A.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, MA. DEL C.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, J. L. Primera edición en español. 1995. *Publicación especial 3.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). Chapingo, México. 306 p.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. H. 1993. *Soil Fertility and Fertilizer.* 5ª ed. MacMillan. New York, USA. 855 p.
- VOS, J.; GROENWOLD, J. 1986. Root growth of potato crops on a marine-clay soil. *Plant Soil* 94: 17-33.