

ACUMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA SECA EN PAPA CULTIVADA CON FERTIGACIÓN POR GOTEO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL

DRY MATTER ACCUMULATION AND DISTRIBUTION IN POTATO GROWING WITH SUPERFICIAL AND SUBSUPERFICIAL DRIP FERTIGATION

José Luis Aguilar Acuña^{1*}, José de Jesús Martínez Hernández², Víctor Volke Haller², Jorge Etchevers Barra², Prometeo Sánchez García² y Rodrigo Aveldaño Salazar³

¹ Campo Experimental Bajío, INIFAP, Apartado Postal 112, Celaya, Gto. Tel. (01) 4611-5323 ext. 130. Fax. (01) 4611-5431. ² Instituto de Recursos Naturales, Especialidad de Edafología. Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, México. Tel. (01) 5952-0200 ext. 1220, Fax. (01) 5952-0200 ext. 1254. ³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Serapio Rendón No. 83, San Rafael 06470 México, D.F. Tel. (01) 5140-1651, Fax. (01) 5546-9020.

*Autor responsable

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de la fertigación por goteo superficial y subsuperficial en la distribución y acumulación de la materia seca de papa, (*Solanum tuberosum*) se estableció un experimento en condiciones de invernadero, en el Campus San Luis Potosí del Colegio de Postgrados. El sistema de fertigación subsuperficial consistió en enterrar el gotero a 20 cm de profundidad. Los dos sistemas de fertigación se automatizaron para aplicar una solución nutritiva con nitrógeno, fósforo y potasio. Las variables utilizadas fueron la biomasa seca de tallo, hoja, raíz, tubérculo, biomasa aérea, biomasa total, índice de cosecha y la tasa absoluta de crecimiento de cada órgano de la variedad Montserrat. La acumulación de materia seca de biomasa total y el índice de cosecha fueron significativamente mayores con el sistema de fertigación superficial; en cambio, la materia seca de hoja y raíz resultaron significativamente menores con respecto al sistema de fertigación subsuperficial, en tanto que tallo, tubérculo y biomasa aérea fueron estadísticamente iguales entre los dos sistemas. La tasa absoluta de crecimiento (TAC) para tallo, hoja, raíz y biomasa aérea con fertigación subsuperficial resultaron significativamente mayores a los obtenidos con fertigación superficial. Caso contrario ocurrió para tubérculo y biomasa seca total. La TAC del tubérculo de papa tuvo una tendencia siempre ascendente de acumular materia seca a través del tiempo, a los 72 días la TAC fue mayor con fertigación subsuperficial (10.29 g planta⁻¹) que con fertigación superficial (7.84 g planta⁻¹), lo que denota que en la etapa de tuberización intermedia aún seguían acumulando materia seca.

Palabras clave adicionales: *Solanum tuberosum*, tasa absoluta de crecimiento, riego por goteo.

SUMMARY

Under greenhouse conditions, an experiment on superficial and sub-superficial drip irrigation was established to assess dry matter distribution and accumulation in potato (*Solanum tuberosum*). The sub-superficial fertigation system consisted in burying a dripper at 20 cm depth. To apply a nutritive solution with nitrogen, phosphorus, and potassium both systems were automated. The variables

measured were stalk, leaf, root and tuber dry biomass, aerial biomass, total biomass, harvest index and absolute growth rate (AGR) of each organ in the Montserrat variety. Dry matter accumulation of the total biomass and the harvest index were significantly higher in the superficial fertigation system; on the other hand, leaf and root dry matter were statistically smaller with respect to sub-superficial fertigation system. Stalk, tuber and air biomass were statistically similar in both systems. The AGR for stalk, leaf, root, and aerial biomass in the sub-superficial fertigation were significantly higher than in the superficial fertigation system. The opposite occurred for tuber and total dry biomass. The AGR of tubers was increased through time to accumulate dry matter, 72 days after emergence the AGR was higher with subsurface fertigation (10.29 g plant⁻¹) than with surface fertigation (7.84 g plant⁻¹), thus indicating that during the intermediate tuber period, dry matter accumulation was still occurring.

Additional index words: *Solanum tuberosum*, absolute growth rate, drip irrigation

INTRODUCCIÓN

A pesar de la importancia del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en México, su productividad es baja (20 t ha⁻¹), comparada con la de otros países (Rubio, 1997). Diversos factores de suelo, clima y manejo están relacionados con este bajo rendimiento. La fertilización e irrigación son los factores de manejo más importantes con los cuales el productor puede controlar el desarrollo de la planta, para incrementar el rendimiento y calidad del producto (Bar-Yosef, 1999).

La combinación de la fertilización e irrigación (fertigación) aplicados por goteo de alta frecuencia en las áreas agrícolas del mundo ha permitido una expansión casi lineal del sistema, al incrementar la productividad y

la economía de los nutrientes y del agua, principalmente. Sin embargo, los altos requerimientos de labor y de energía para distribuir y recoger las líneas laterales en cada ciclo de cultivo, y el deterioro de las líneas de goteo superficial provocado por la exposición a la radiación solar, animales y maquinaria pesada, restringen la expansión del riego por goteo. Estos problemas pueden evitarse, mediante la colocación de las líneas laterales con goteros de manera subsuperficial a una profundidad adecuada. Además, posicionaría el suministro de nutrientes en el centro del sistema radical, donde el contenido de humedad es relativamente alto y constante o frecuente con el tiempo (Phene y Howell, 1984), la actividad radical es máxima y donde el crecimiento radical es más profundo en el suelo, que cuando es superficial (Martínez *et al.*, 1991).

El objetivo del presente trabajo es evaluar las diferencias entre la fertigación por goteo superficial y goteo subsuperficial con respecto a la distribución y acumulación de la materia seca en papa cv. Montserrat, en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo planteado, 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. Desde la siembra hasta la cosecha, el ámbito de las temperaturas diarias y no controladas dentro del invernadero fueron los siguientes: a) temperatura máxima de 35 a 27 °C; b) temperatura mínima de 19 a 15 °C; y c) temperatura media de 26 a 21 °C. La duración astronómica de la insolación promedio mensual osciló de 12.9 a 11.05 h día⁻¹, del mes de agosto a noviembre.

Los dos tratamientos estudiados corresponden a los sistemas de fertigación por goteo superficial y goteo subsuperficial, con goteros enterrados a una profundidad de 20 cm; cada tratamiento se repitió diez veces. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones. 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. Cada contenedor se revistió en el interior con bolsas negras de plástico. En el fondo de cada contenedor se puso una capa de 5 cm de tezontle con diámetro menor de 1 cm y se llenaron con suelo procedente del Campo Experimental "La Huerta", del mismo Campus. En cada

contenedor y en el fondo se colocaron dos tubos para drenar el exceso de agua, situación que no se presentó. El suelo, de acuerdo con la clasificación del Soil Survey Staff (1995), se clasifica como un Aridisols, de textura media, con presencia de carbonatos (fase física petrocálcica) en una capa que oscila entre 40 y 60 cm de profundidad (INEGI, 1988).

Un día antes de la siembra, se aplicó una fertilización basal o de fondo en el centro de cada contenedor, a una profundidad de 12 cm, con la finalidad de asegurar una concentración nutrimental mínima en el volumen radical del suelo durante las etapas iniciales de crecimiento (Bar-Yosef *et al.*, 1995; Bar-Yosef, 1999). El tratamiento aplicado fue el equivalente a 60 - 100 - 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Se sembró un tubérculo con brotes, en el centro de cada contenedor, a una profundidad de 10 cm. La papa y el suelo donde se depositó el tubérculo, se asperjaron con una mezcla de 5 L de Cufurán (insecticida) y de 4 kg de Intercaptán (fungicida) en 200 L de agua. Los brotes de papa emergieron a los 10 días después de la siembra.

Se utilizó la variedad de papa Montserrat del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, considerada precoz por producir 90 días después de la emergencia (DDE), y resistente al tizón tardío *Phytophthora infestans* M. de B.

En las etapas vegetativas de mayor demanda nutrimental (del 22 a los 62 DDE) se aplicaron micronutrientos vía foliar, de productos tales como Poliquel Multi, que contiene 4 % Zn, 3 % Fe, 4 % S, 1 % Mg, 0.25 % Mn, 0.04 % Cu, 0.04 % B, 0.005 % Mo y 0.002 % Co, con 8 aplicaciones, en dosis de 4 L ha⁻¹, y de Poliquel Calcio, con concentraciones de 10 % Ca, 1 % Mg, 0.5 % B y 10 g L⁻¹ Mo, con 5 aplicaciones, en dosis de 3 L ha⁻¹, en 200 L de agua por cada aplicación.

La fertigación con goteo superficial y subsuperficial comenzó a aplicarse a partir del día 10 después de la emergencia (DDE) con concentraciones de N, P y K elementales que variaron entre los intervalos conforme el cultivo los requería, según se indica en el Cuadro 1.

Para los tratamientos de fertigación se utilizaron los fertilizantes solubles en agua: nitrato de amonio (33.5 % N), nitrato de potasio (12 % N, 2 % P₂O₅ y 44 % K₂O) y ácido fosfórico con 85 % de concentración de H₃PO₄.

Cuadro 1. Concentración de N, P y K aplicados en fertigación por goteo.

Intervalo		N	P	K
Fecha ^{a/}	DDE ^{b/}	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
02/09 - 17/09	10 - 25	50	30	75
18/09 - 30/09	26 - 38	100	60	150
01/10 - 09/10	39 - 47	150	60	200
10/10 - 25/10	48 - 63	150	60	250
26/10 - 28/10	64 - 66	100	60	200

^{a/} Día y mes

^{b/} Días después de la emergencia

El sistema de fertigación utilizado consistió de un tablero con reloj "timer", para programar automáticamente el tiempo y número de riegos y una bomba eléctrica que bombeó la solución nutritiva de un depósito con capacidad de 70 L, y la distribuyó por una línea de PVC, con diámetro externo de 2 cm. De la línea principal se conectó un microtubo de 3 mm de diámetro interno, al final del cual se insertó un gotero autocompensante con un gasto de 6 L h⁻¹, el cual se colocó en el centro de cada contenedor. A los 62 DDE se lavaron los goteros y la línea de PVC, por problemas de taponamiento en los goteros presentados desde los 42 DDE.

Se realizaron cinco muestreos destructivos de plantas, a los 24, 37, 47, 59 y 72 DDE, que correspondieron a las etapas fenológicas siguientes: desarrollo vegetativo (10 - 25 DDE), floración (26 - 38 DDE), tuberización inicial (39 - 47 DDE) y tuberización intermedia (48 - 72 DDE). No se muestreó en la etapa de maduración. En cada muestreo se tomó una planta completa de cada tratamiento y en dos repeticiones; cada planta completa se separó en los órganos: tallo, hojas, raíz y tubérculos. La raíz se sometió a lavado para separar el suelo de la raíz, mediante tamices de malla 20 para recuperar las raíces durante el lavado. Cada órgano se secó en una estufa a 70 °C, con circulación de aire forzado durante 72 h.

Como análisis de crecimiento se utilizó a la variable tasa absoluta de crecimiento (TAC), que es la cantidad de materia seca acumulada por la planta por unidad de tiempo, en g planta⁻¹ día⁻¹ (Hunt, 1982), expresada como:

$$TAC = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1)$$

Donde

$C_2 - C_1$ = Diferencia de peso entre dos muestreos.

$t_2 - t_1$ = Intervalo de días entre dos muestreos.

Otra variable utilizada fue el índice de cosecha (IC),

que es el cociente que resulta de dividir el rendimiento del tubérculo entre la biomasa total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación y distribución de materia seca por órgano

Los promedios de la biomasa seca total y el índice de cosecha resultaron significativamente más altos con fertigación superficial (133.3 g planta⁻¹ y 0.34, respectivamente) que con fertigación subsuperficial. Lo contrario se observó con la materia seca de hoja y raíz (37.1 y 2.1 g planta⁻¹, respectivamente; Cuadro 2).

La acumulación de materia seca en el sistema de fertigación subsuperficial mostró un atraso desde la emergencia hasta los 59 DDE en tallo y biomasa aérea, hasta los 37 DDE en raíz, y prácticamente hasta los 72 DDE en el tubérculo (Cuadro 2). Esta acumulación inhibida se atribuye a dos factores: 1) Al tiempo adicional que las raíces necesitaron para pasar a través de la capa de suelo menos húmeda, desde 10 cm de profundidad al centro del volumen de suelo húmedo cerca del emisor, a 20 cm de profundidad. Este comportamiento también fue reportado con plantas de tomate por Bar-Yosef (1991), citado por Bar-Yosef (1999); y 2) Al taponamiento de goteros (principalmente subsuperficiales) en el período de 42 hasta los 62 DDE, que impidieron el acceso de agua y nutrientes a las raíces.

El segundo factor también explica el porqué la planta produjo menor cantidad de biomasa aérea y tubérculo a los 47 y 59 DDE en el tratamiento con fertigación subsuperficial, con respecto a la fertigación superficial (Cuadro 2).

La acumulación de materia seca en las hojas y en el del tallo tuvieron un comportamiento similar durante el ciclo de crecimiento, en ambos sistemas de fertigación (Figuras 1 y 2), aunque el peso seco del tallo fue ligeramente inferior al de la hoja.

Con el sistema de fertigación superficial se alcanzaron los pesos máximos en menor tiempo; en tallo y hoja fueron de 49.5 y 46.9 g planta⁻¹ a los 59 DDE, mientras que con fertigación subsuperficial el peso máximo de los órganos ocurrió hasta los 72 DDE, lo que sugiere que aún seguirían acumulando materia seca (Cuadro 2).

ACUMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA SECA EN PAPA

Cuadro 2. Acumulación y distribución de la materia seca en los órganos de la papa, en función del sistema de fertigación y del tiempo.

Sistema de fertigación	Muestreo DDE ^{1/}	Acumulación y distribución de materia seca						
		Tallo	Hoja	Raíz	Tubérculo	BA ^{2/}	BST ^{3/}	IC ^{4/}
Superficial	24	9.0 c ⁺	11.6 e	0.4e	0	20.6 d	21.0 e	0
	37	33.7 b	35.9 d	1.9 c	0.3 d	73.6 c	75.8 d	0.004 c
	47	39.6 b	39.7 cd	2.2 b	20.1 c	79.3 bc	101.6 c	0.198 d
	59	49.5 a	46.9 ab	2.4 b	88.9 b	96.4 a	187. b	0.474 b
	72	39.1 b	43.6 bc	2.6 a	194.9 a	82.7 b	280.2 a	0.696 a
Subsuperficial	Promedio	34.2 a ⁺⁺	36.3 b	1.9 b	76.1 a	70.5 a	133.3 a	0.34 a
	24	6.2 c ⁺	8.5 e	0.3 e	0	14.7 d	15.0 e	0
	37	33.6 b	38.2 d	1.7 d	2.4 d	71.8 c	75.9 d	0.032 e
	47	35.6 b	41.7 c	2.5 b	16.2 c	77.3 c	96.0 d	0.168 d
	59	42.4 ab	46.3 ab	2.7 a	34.9 c	88.7 b	126.3 c	0.276 c
	72	49.1 a	50.6 a	3.2 a	174.0 a	99.7 a	276.9 a	0.628 a
Promedio	Promedio	33.4 a ⁺⁺	37.1 a	2.1 a	56.9 a	70.4 a	118 b	0.28 b

^{1/} Días después de la emergencia.

^{2/} Biomasa aérea (tallos + hojas).

^{3/} Biomasa seca total.

^{4/} Índice de cosecha.

+ Cifras con la misma letra entre muestreos por columna son estadísticamente iguales.

++ Cifras con la misma letra entre promedios por columna son estadísticamente iguales.

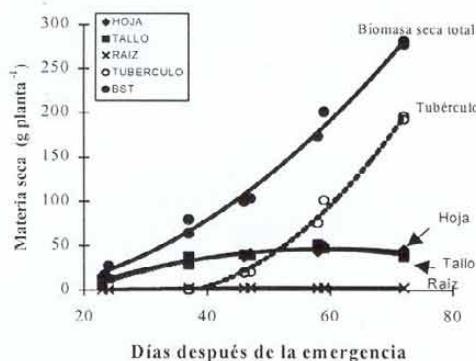


Figura 1. Distribución y acumulación de la materia seca de la planta de papa con fertilización superficial.

La biomasa aérea fue de 96.4 y 99.7 g planta⁻¹ a los 59 y 72 DDE con fertilización superficial y subsuperficial, respectivamente. Alvarez-Sánchez *et al.* (1999) reportaron una biomasa aérea seca de 57.6 g planta⁻¹ a los 105 DDE con la variedad Mexiquense de ciclo intermedio y en condiciones de temporal en campo, cantidad muy inferior a la obtenida en este estudio con la variedad Montserrat de ciclo corto y en invernadero. Después de las fechas señaladas comenzó a disminuir lentamente la biomasa aérea, lo cual se atribuye a la translocación de nutrientes o asimilados hacia los tubérculos. Esto coincide con Asfary *et al.* (1983), quienes encontraron que después de 63 DDE hubo pérdida del peso seco foliar.

Sin embargo, cuando se hizo el último muestreo a los 72 DDE, las hojas todavía se encontraban fotosintéticamente activas y los tubérculos aumentando de peso. Similarmente, Manrique *et al.* (1984) encontraron que durante el ciclo de verano en Hawaii y a los 120 DDE, la mayoría de las hojas se encontraban aún fisiológicamente activas y los tubérculos acumulando materia seca. En cambio, McCollum (1978) encontró que después de 56 DDE hubo una pérdida rápida de hojas y tallos, y al momento de la cosecha, a los 84 DDE, las plantas se encontraban defoliadas y con los tallos muertos. Esta discrepancia pudiera deberse a la diferencia en la preocidad de los genotipos empleados y en la temperatura ambiental o del suelo (Midmore y Rhoades, 1987).

La biomasa aérea representó más de 94 % de la biomasa seca total de la planta en los primeros 37 DDE y luego disminuyó rápidamente para ubicarse en 29.5 y 36.0 % a los 72 DDE con fertilización superficial y fertilización subsuperficial, respectivamente (Cuadro 2). Estas últimas cantidades son semejantes a la proporción (33 %) obtenida por Alvarez-Sánchez *et al.* (1999) para la biomasa aérea y a la de 32 % reportada por Kleinkopf *et al.* (1981) a los 100 días después de la siembra (DDS), con la variedad Norgold Russet de hábito determinado. Ezekiel y Bhargava (1993) por su parte, obtuvieron valores de 14.1 % para días cortos (8 h con luz) y de 30.1 % para días largos (16 h con luz).

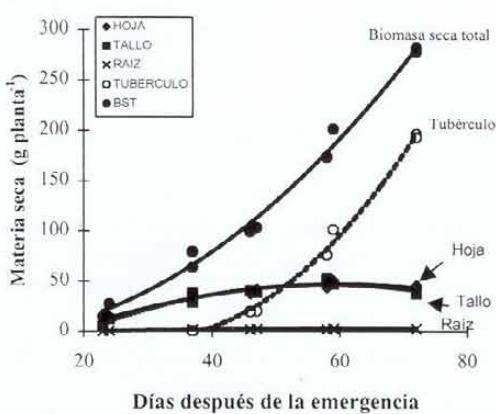


Figura 2. Distribución y acumulación de la materia seca de la planta de papa con fertigación subsuperficial.

La raíz varió de 0.3 a 3.2 g planta⁻¹ de su peso seco y seguía acumulando materia seca hasta el momento de la cosecha (Figuras 1 y 2, y Cuadro 2); sin embargo, estos valores son muy inferiores a los obtenidos por Vos y Groenwold (1986), que fueron de 6.9 a 20.2 g planta⁻¹. Esta diferencia puede deberse a la pérdida del material radical que ocurre durante las varias etapas de la recuperación o separación de la raíz del suelo. Dependiendo del método usado, la pérdida del peso seco puede variar entre 20 y 40 %; por tanto, se considera que el peso seco de la raíz es generalmente subestimado (Vos y Groenwold, 1986).

La materia seca de raíz representó de 0.9 a 2.6 % con respecto al peso seco total de la planta (Cuadro 2). Nótese que el valor máximo (2.6 %) está dentro del rango (2 a 3 %) obtenido por Alvarez-Sánchez *et al.* (1999) en campo, y muy debajo del reportado por Rodríguez (1993) en campo (6 %) y de los obtenidos por Ezekiel y Bhargava (1993) en macetas, para días cortos (6.6 %) y largos (13.8 %).

La tuberización inició aproximadamente a los 34 DDE; a los 47 y 59 DDE la acumulación de materia seca en el tubérculo fue casi lineal y acelerada para los sistemas de fertigación superficial y subsuperficial, respectivamente (Figuras 1 y 2). Las curvas de la acumulación de materia seca en los tubérculos mostraron tendencias crecientes, debido a que cuando se cosechó, la planta se encontraba activa fisiológicamente y en la etapa de tuberización intermedia, en la que los tubérculos aún estaban acumulando materia seca y creciendo.

El aumento en el peso seco del tubérculo en por ciento fue inversamente proporcional al decaimiento del peso

seco de la biomasa aérea. Cuando ambos órganos tuvieron 50 % de su peso seco, habían transcurrido 61 DDE con fertigación superficial y 67 DDE con fertigación subsuperficial. A los 72 DDE, la relación fue de 69.6 % para tubérculos y 29.5 % para la biomasa aérea con fertigación superficial, y de 62.8 % para tubérculos y 36.0 % para biomasa aérea con fertigación subsuperficial. Alvarez-Sánchez *et al.* (1999) reportaron dichas proporciones para niveles óptimos y subóptimos de nutrición con P, causando en el segundo caso que la hoja envejeciera y retrasara con ello el desarrollo del tubérculo. En el presente estudio no se detectó envejecimiento de la hoja con la fertigación subsuperficial.

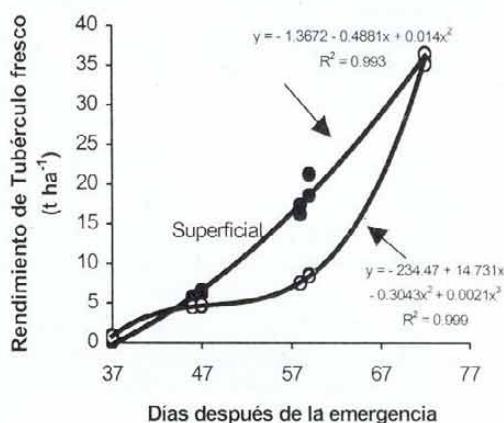


Figura 3. Cinética de acumulación de peso fresco en tubérculos de plantas con fertigación superficial y subsuperficial.

Los pesos máximos observados de materia fresca de tubérculo obtenidos a los 72 DDE, fueron de 898.9 y de 894.8 g planta⁻¹ o 3.60 y 3.58 kg m⁻² con fertigación superficial y subsuperficial, respectivamente, que equivalen a 36.0 y 35.8 t ha⁻¹ (Figura 3) en la etapa de tuberización intermedia, y sin diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 2).

La acumulación de la biomasa o materia seca total en los dos sistemas de fertigación (Cuadro 2), resultaron mayores a los obtenidos por Ezekiel y Bhargava (1993), cuyo valor más cercano fue de 146.47 g planta⁻¹ con una variedad de ciclo largo, a los 150 días después de la siembra.

Índice de cosecha

El índice de cosecha (IC) a los 72 DDE, fue de 0.696 con fertigación superficial y de 0.628 con fertigación

subsuperficial (Cuadro 2); estos valores se encuentran en el intervalo de 0.6 a 0.7 y son considerados altos por Rodríguez (1993). En condiciones de campo, Alvarez-Sánchez *et al.* (1999) registraron valores de 0.64, McCollum (1978) de 0.70 a 0.75 y Ezekiel y Bhargava (1993) en macetas obtuvieron valores de 0.65 y 0.79 en días largos y cortos, respectivamente.

Tasa absoluta de crecimiento

En promedio, con el sistema de fertigación subsuperficial se tuvieron valores de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) significativamente inferiores a los obtenidos con fertigación superficial en tallo, hoja, raíz y biomasa aérea; lo contrario ocurrió con la TAC de tubérculo y biomasa seca total (BST) (Cuadro 3).

A los 37 DDE, la TAC de la hoja y del tallo alcanzaron valores máximos promedios de 1.81 y 2.05 g planta⁻¹ día⁻¹, y de 1.83 y 1.89 g planta⁻¹ día⁻¹, con fertigación superficial y subsuperficial, respectivamente, sin diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 3). A la cosecha, a los 72 DDE, y con fertigación superficial se obtuvieron valores negativos, sobre todo en el tallo, lo cual indica que en ese intervalo las hojas y el tallo perdían biomasa; en cambio, con fertigación subsuperficial no se observaron valores negativos, y aunque tenía una tasa pequeña, todavía seguía acumulando materia seca.

La biomasa seca aérea a los 37 DDE resultó en 3.63 y 3.94 g planta⁻¹ día⁻¹ con fertigación superficial y subsuperficial, respectivamente. Dichas tasas fueron disminuyendo con el tiempo hasta hacerse negativas con la ferti-

gación superficial a los 72 DDE, con -0.76 g planta⁻¹. Asfary *et al.* (1983) obtuvieron tasas con incrementos en el peso seco de la biomasa aérea de hasta 1.1 g planta⁻¹ día⁻¹ a los 42 DDE, muy inferiores respecto a los valores obtenidos en el presente estudio en ese mismo período (Cuadro 3).

Las mayores tasas absolutas de crecimiento de la raíz ocurrieron alrededor de los 37 DDE con fertigación superficial, y entre los 37 y 47 DDE con fertigación subsuperficial y luego disminuyeron paulatinamente con el tiempo (Cuadro 3). La tendencia de la TAC de la raíz coincide con la observada para hoja y tallo.

A diferencia de los demás órganos de la planta, la TAC del tubérculo de papa muestra la tendencia ascendente de acumular materia seca a través del tiempo. A los 72 DDE la TAC con fertigación subsuperficial fue de 10.29 g planta⁻¹ día⁻¹, mientras que con fertigación superficial fue de 7.84 g planta⁻¹ día⁻¹, significativamente diferentes (Cuadro 3) y mayores al valor de 5.3 g planta⁻¹ día⁻¹ reportado por Asfary *et al.* (1983), entre los 63 y 70 DDE y en promedio de dos años.

Los menores valores de la TAC en los órganos de la planta de papa, a los 47 y 59 DDE con el sistema de fertigación subsuperficial con respecto a los valores obtenidos con fertigación superficial, se atribuye al bajo suministro nutrimental y de agua provocado por el taponamiento de los goteros.

Cuadro 3. Tasa absoluta de crecimiento de la materia seca por órgano en función del sistema de fertigación y tiempo.

Sistema de fertigación	Muestreo DDE ^{1/}	Tasa absoluta de crecimiento de materia seca					
		Tallo	Hoja	Raíz	Tubérculo	BA ^{2/}	
Superficial	24	0.38 c ⁺	0.49 c	0.015 e	0	0.87 c	0.89 c
	37	1.83 a	1.81 a	0.115 a	0.01 e	3.63 a	3.77 cd
	47	1.06 b	1.10 b	0.055 c	2.09 d	2.16 b	4.31 c
	59	0.83 b	0.61 c	0.017 e	5.73 c	1.33 c	7.19 b
	72	-0.52 d	-0.25 e	0.018 e	7.84 b	-0.76 d	7.09 b
	Promedio	0.72 b ⁺⁺	0.75 b	0.044 b	3.92 a	1.45 b	4.65 a
Subsuperficial	24	0.27 c ⁺	0.36 d	0.013 f	0	0.63 c	0.64 e
	37	1.89 a	2.05 a	0.097 b	0.01 e	3.94 a	4.05 cd
	47	0.88 b	1.00 b	0.095 b	1.67 d	1.88 b	3.65 cd
	59	0.57 bc	0.39 cd	0.036 d	1.56 d	0.96 c	2.56 d
	72	0.49 c	0.31 d	0.025 d	10.29 a	0.80 c	11.12 a
	Promedio	0.82 a ⁺⁺	0.82 a	0.053 a	3.38 b	1.64 a	4.40 b

^{1/} Días después de la emergencia

^{2/} Biomasa aérea (tallos + hojas)

^{3/} Biomasa seca total

*Cifras con la misma letra entre muestreos por columna son estadísticamente iguales

**Cifras con la misma letra entre promedios por columna son estadísticamente iguales

CONCLUSIONES

La acumulación de materia seca de biomasa seca total y el índice de cosecha fue significativamente mayor con el sistema de fertigación superficial que en subsuperficial. En cambio, la acumulación de materia seca de hoja y raíz fue significativamente menor en el sistema de fertigación superficial, en tanto que en tallo, tubérculo y biomasa aérea la acumulación resultó estadísticamente igual entre los dos sistemas de fertigación.

A través del tiempo, la acumulación y distribución de la materia seca por órgano se comportaron diferente entre los sistemas de fertigación. La tasa absoluta de crecimiento en tallo, hoja, raíz y biomasa aérea con fertigación subsuperficial resultaron significativamente mayores a los obtenidos con fertigación superficial. Caso contrario ocurrió para tubérculo y biomasa seca total.

La TAC del tubérculo de papa tuvo una tendencia siempre ascendente de acumular materia seca con la edad; a los 72 DDE la TAC fue mayor con fertigación subsuperficial ($10.29 \text{ g planta}^{-1}$) que con fertigación superficial ($7.84 \text{ g planta}^{-1}$), lo que denota que en la etapa de tuberización intermedia aún seguían acumulando materia seca.

Se sugiere continuar investigando en los dos sistemas de fertigación, procurando instalar filtros para evitar taponamientos, y cosechar hasta la madurez del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo otorgado al proyecto 3612P-B, del cual forma parte el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez-Sánchez E., J. D. Etchevers B., J. Ortiz C., R. Núñez E., V. Volke H., L. Tijerina Ch., and A. Martínez G. 1999.

- Phosphate nutrition of potato: its effect on biomass production and P accumulation. *J. Plant Nutrit.* 22: 205-217
- Asfary, A. F., A. Wild, and P. M. Harris. 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.
- Bar-Yosef B., B. Sagiv, T. Markovitch, and I. Levkovich. 1995. Phosphorus placement effects on sweet corn growth, uptake and yield. In: "Dahlia Greidinger International Symposium on Fertigation". Technion, Haifa, Israel. pp: 141-154.
- Ezekiel, R. and S. C. Bhargava. 1993. Distribution of dry matter and nitrogen in potato plants as influenced by photoperiod. *Indian J. Plant Physiol.* 36:29-33.
- INEGI. 1988. Atlas Nacional del Medio Físico. Aguascalientes, Ags. México. 224 p.
- Kleinkopf, G. E., D. T. Westermann, and R. B. Dwelle. 1981. Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. *Agron. J.* 73:799-802.
- Manrique, L. A., G. Y. Tsuji, G. Uehara, and R. L. Fox. 1984. Winter and summer performance of potato (*Solanum tuberosum*) in isohyperthermic regimes. *Am. Potato J.* 61:41-56.
- Martínez H. J. J., B. Bar-Yosef, and U. Kafkafi. 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.
- Midmore, D. J. and R. E. Rhoades. 1987. Applications of agrometeorology to the production of potato in the warm tropics. *Acta Hort.* 214:103-136.
- Phene C. J. and T. A. Howell. 1984. Soil sensor control of high frequency irrigation. *T:ans. 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. 287 p.
- Rubio C., O. 1997. Aportaciones del programa de papa del INIFAP. In: I. Simposium Internacional de la Papa. Campo Experimental Valle de Toluca, Conjunto SEDAGRO, Rancho San Lorenzo, Metepec, Edo. de México. pp: 21-30.
- Soil Survey Staff. 1995. Claves para la taxonomía de suelos, versión 1994. Traducción de Carlos A. Ortíz Solorio, Ma. del Carmen Gutiérrez Castorena y José Luis García Rodríguez. Primera edición en español. 1995. Publicación especial 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo (SMCS). Chapango, México. 306 p.
- Vos, J. and J. Groenwold. 1986. Root growth of potato crops on a marine-clay soil. *Plant and Soil* 94:17-33.