



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Bugarín Montoya, R.; Galvis Spinola, A.; Sánchez García, P.; García Paredes, D.
Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate
Terra Latinoamericana, vol. 20, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, pp. 401-409
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57320405>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ACUMULACION DIARIA DE MATERIA SECA Y DE POTASIO EN LA BIOMASA AEREA TOTAL DE TOMATE

Daily Accumulation of Aboveground Dry Matter and Potassium in Tomato

R. Bugarín-Montoya¹, A. Galvis-Spinola², P. Sánchez-García³ y D. García-Paredes¹

RESUMEN

Se generó un método para estimar la acumulación diaria de materia seca (MS_{BAT}) y potasio (K_{BAT}) en la biomasa aérea total del tomate en el período de crecimiento (P_C) entre la fecha de plantación y cosecha, cuya aplicación se espera que sea válida indistintamente del hábito de crecimiento del cultivo, manejo o condiciones ambientales. El procedimiento consistió en convertir la MS_{BAT} y K_{BAT} durante el P_C en términos proporcionales al valor máximo alcanzado en cada caso, codificando la MS_{BAT} , K_{BAT} y P_C con el valor de 0.0 en la plantación y 1.0 en la cosecha. Los valores intermedios se asignaron proporcionalmente al máximo observado (MS_{BATp} , K_{BATp} , P_{Cp}) y se ajustó cada tendencia a los siguientes modelos teóricos:

$$MS_{BATp} = \frac{1.1}{[1 + \exp(3.5-5.7 P_{Cp})]}$$

$$K_{BATp} = \frac{1.2}{[1 + \exp(5.0-6.6 P_{Cp})]}$$

Para validar ambos modelos, se emplearon datos de experimentos realizados por otros autores en diversos países, con diferentes ambientes de producción y manejo. La MS_{BAT} y K_{BAT} estimados con los modelos propuestos concordaron con los observados en los ensayos independientemente de las condiciones en que se desarrolló el cultivo de tomate, por lo que se concluye que los modelos propuestos pueden emplearse para estimar la acumulación diaria de materia seca y potasio en la biomasa aérea del

¹ Facultad de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nayarit. (rbugarin@nayar.uan.mx).

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, estado de México. (galvis@colpos.colpos.mx; promet@colpos.colpos.mx)

Recibido: Junio de 2001. Aceptado: Marzo de 2002.
Publicado en Terra 20: 401-409.

tomate, lo cual constituye una herramienta valiosa para coadyuvar a regular la aplicación de potasio en fertirrigación mediante riego por goteo.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum Mill., demanda de potasio, periodo de crecimiento.*

SUMMARY

A method was generated to estimate the daily accumulation of dry matter biomass (MS_{BAT}) and potassium (K_{BAT}) during the growth period (P_C) of tomato plants from planting date to harvest time. This approach is expected to be valid regardless of plant growth habit, management practices or environmental conditions. Maximum values of MS_{BAT} , K_{BAT} and P_C were converted, in all cases, to proportional terms to the maximum value reached in each one and were codified with 0.0 and 1.0 on the planting and harvest date, respectively. The intermediate values were assigned proportionally to the maximum value observed (MS_{BATp} , K_{BATp} , and P_{Cp}) and the trend was adjusted according to the following theoretical models:

$$MS_{BATp} = \frac{1.1}{[1 + \exp(3.5-5.7 P_{Cp})]}$$

$$K_{BATp} = \frac{1.2}{[1 + \exp(5.0-6.6 P_{Cp})]}$$

To validate both models, data from other researchers from several countries, under different environments and managements were used. The MS_{BAT} and K_{BAT} estimated with the proposed models coincided with the ones obtained by using experimental data from cultivated plants without climatic stress. It is concluded that the models proposed can be used to estimate the daily accumulation of dry matter and potassium in the aboveground tomato biomass. This estimation

constitutes a valuable tool in regulating the potassium supply in fertigation with trickle irrigation.

Index words: *Lycopersicon esculentum Mill., potassium demand, growth period.*

INTRODUCCION

Ante la creciente escasez de recursos hídricos destinados para la agricultura y el alto costo de los insumos agrícolas, resulta indispensable buscar alternativas tecnológicas que reduzcan los costos de producción y que, al mismo tiempo, se obtengan altos rendimientos con la mayor calidad posible sin detrimento de los recursos naturales. En este sentido, el fertirriego ha resultado una técnica promisoriosa en agrosistemas hortícolas intensivos para abastecer adecuadamente con agua y nutrimentos a estos cultivos durante su ciclo de producción mediante el empleo de sistemas de microirrigación (Bar-Yosef, 1999). Aunque se ha demostrado que el fertirriego es una técnica exitosa, aun persisten problemas que son indispensables resolver como es precisar la dosis de fertilizantes que deben aplicarse para incrementar la eficiencia de aprovechamiento de los nutrimentos y fomentar la rentabilidad de la producción sin deterioro de los recursos naturales. Una forma de proceder es mediante la cuantificación de la demanda nutrimental diaria del cultivo de interés, lo que permitiría hacer los ajustes necesarios en el manejo de la fertilización.

Para calcular la demanda total de un cultivo, Galvis *et al.* (1994) sugirieron hacerlo a través de la meta de rendimiento en materia seca total y el requerimiento interno del nutrimento de interés. Aunque esto se ha validado exitosamente (Rodríguez *et al.*, 2001), este procedimiento no permite conocer la demanda parcial durante un periodo determinado del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo. La distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se ha descrito como un equilibrio funcional (Brouwer, 1962) o como funciones de distribución dependientes del tiempo o estado de desarrollo (Heuvelink y Marcelis, 1989); esto ha facilitado predecir de manera razonable la producción de materia seca a lo largo del ciclo de crecimiento en cultivos de crecimiento determinado, como maíz y trigo. Sin embargo, en plantas de crecimiento indeterminado como tomate, pepino y pimiento morrón es necesario considerar otros factores, ya que la dinámica de acumulación de materia seca es diferente (De Koning, 1989).

Mediante el empleo de modelos de simulación, es factible estimar la producción de materia seca en diversos cultivos. En tomate, se ha estimado la producción de materia seca para diferentes épocas del año (Heuvelink, 1995), pero este tipo de modelos tienen el inconveniente de requerir datos de entrada difíciles de conseguir o que, a menudo, no se cuenta con éstos (eficiencia fotoquímica, eficiencia de uso del CO₂, coeficientes de extinción lumínica, valores de Q₁₀, índices respiratorios para hojas, tallos, raíces y frutos y eficiencia de conversión de carbohidratos a materia seca), como es el caso de los modelos TOMSIM(1.0) (Spitters *et al.*, 1989) y TOMGRO(1.0) (Jones *et al.*, 1991). Con ambos modelos, se simuló de manera satisfactoria la producción de materia seca total en tres de cuatro experimentos y en el cuarto ensayo se subestimó en 35% (Bertin y Heuvelink, 1993). Esto sugiere que la inclusión de múltiples parámetros en el algoritmo de un modelo no necesariamente mejora la predicción de la producción de materia seca o absorción nutrimental (Gary *et al.*, 1998).

Los modelos que emplean múltiples parámetros como variables de entrada son convenientes para estudiar las interacciones del cultivo con el medio de producción y entender los efectos del manejo agrícola sobre el cultivo y el ambiente, pero no son apropiados para emplearlos en la toma de decisiones prácticas por la dificultad de su validación (Van Keulen y Wolf, 1986; Rodríguez, 1990). Para estos casos, es necesario el desarrollo de modelos cuyos parámetros de entrada sean los menos posibles y accesibles, cuyo propósito esencial es de empleo totalmente pragmático pero eficiente. Un ejemplo de ello, es el modelo de Tap y Van Straten (1995), quienes simplificaron el modelo propuesto por De Koning (1993) que originalmente requería 364 variables de entrada y ahora sólo requiere cinco, sin perder precisión en la simulación de la distribución de la materia seca en plantas de tomate. Por lo tanto, el esfuerzo en la construcción de un algoritmo debe centrarse en identificar los factores más limitativos de la producción y en los objetivos que se persigan para emplear el modelo; esto es, ya sea para tomar decisiones pragmáticas o entender el sistema de producción (Galvis, 1998).

El cultivo de tomate se ha estudiado en diferentes aspectos; sin embargo, es escasa la información disponible que oriente al productor sobre la cantidad diaria de potasio que requiere este cultivo para satisfacer sus necesidades metabólicas, lo cual tiene relevancia cuando se practica la fertirrigación. Por lo

tanto, en el presente trabajo se propone estimar la acumulación diaria de materia seca y potasio en la biomasa aérea total del tomate con base en sendos modelos teóricos, derivados del método propuesto por Galvis (1998) para trigo, cuya aplicación pueda ser válida para diferentes condiciones de producción y hábitos de crecimiento (determinado o indeterminado), empleando como variable de entrada el rendimiento esperado y la duración del período de crecimiento del cultivo.

MATERIALES Y METODOS

Modelos Teóricos Propuestos

Para generar los modelos teóricos, se estableció un experimento con tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo saladette var. Yaqui de crecimiento determinado, empleando un sistema hidropónico con recirculación de la solución nutritiva. Se evaluaron tres concentraciones de K ($Q_k = 3, 6$ y 9 meq L^{-1}) en la solución nutritiva con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. El cultivo de tomate se realizó en invernadero mediante siembra directa en recipientes de PVC con capacidad de 20 dm^3 y como sustrato se empleó escoria volcánica basáltica. La composición base de la solución nutritiva fue (en meq L^{-1}): 10 NO_3^- , $0.83 \text{ H}_2\text{PO}_4^-$, 5.67 SO_4^{2-} , 6 K^+ , 3.1 Mg^{2+} y 7.4 Ca^{2+} . Las cantidades de micronutrientes adicionados fueron (en mg L^{-1}): 12 Fe , 1.6 Mn , 0.023 Zn , 0.011 Cu y 0.865 B . Las fuentes de nutrientes, el sistema de riego, manejo del cultivo, muestreos de plantas y análisis químico de K han sido descritos en detalle por Bugarín *et al.* (2002). Se cuantificó la acumulación de materia seca y potasio en la biomasa aérea de las plantas de tomate colectas a 20, 34, 48, 62, 74, 98 y 144 días después de la siembra (dds). Con el fin de construir el modelo teórico, se utilizaron sólo los datos de estas dos variables del mejor tratamiento de K (6 meq L^{-1}) con el cual se obtuvo el más alto rendimiento y calidad de tomate en dicho experimento.

Los datos obtenidos de la acumulación de materia seca y potasio en la biomasa aérea se manejaron de acuerdo con el método propuesto por Galvis (1998) para trigo, con el propósito de generar el modelo teórico del tomate procediendo de la siguiente manera: a) la variable independiente fue el tiempo transcurrido entre la fecha de plantación y la cosecha (P_C); b) la variable dependiente fue la materia seca (MS_{BAT}) o potasio (K_{BAT}) acumulados en la biomasa

aérea total durante el P_C , según haya sido el caso; c) las tres variables (P_C , MS_{BAT} y K_{BAT}) se codificaron asignando a cada una el valor de 0.0 en la plantación y 1.0 al valor máximo a la cosecha; los datos intermedios se codificaron proporcionalmente al máximo observado; d) mediante un proceso iterativo se ajustó una función logística a los datos experimentales codificados (MS_{BAT} y K_{BAT}) para obtener los parámetros de cada modelo teórico.

Validación de los Modelos Teóricos Propuestos

La validación de los modelos teóricos propuestos para estimar la acumulación diaria de materia seca y K en la biomasa aérea total se realizó utilizando datos reportados por otros autores en la literatura nacional e internacional, los cuales incluyen distintas variedades, hábitos de crecimiento, sistemas de riego y condiciones de producción (invernadero y a campo abierto). En los Cuadros 1 y 2, se resumen las principales características de la información utilizada en la validación de los modelos teóricos propuestos para estimar la MS_{BAT} y K_{BAT} , respectivamente. Con base en el rendimiento de frutos o materia seca total y duración del ciclo del cultivo que reportó cada autor citado en los dos cuadros en discusión, con los respectivos modelos teóricos propuestos, se estimó la cantidad de materia seca y K acumulados durante el período de crecimiento y desarrollo del tomate.

La precisión de la estimación para cada caso se evaluó mediante regresión lineal simple considerando los valores observados como la variable independiente y los estimados como la dependiente. La significancia estadística de las regresiones y sus respectivos coeficientes de determinación fueron los parámetros de referencia para evaluar la eficacia de los modelos teóricos propuestos en este trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Modelos Teóricos Propuestos

En la Figura 1, se presentan los resultados de la acumulación de materia seca (MS_{BAT}) y de potasio (K_{BAT}) en la biomasa aérea total a lo largo del ciclo de crecimiento del tomate que se obtuvieron en el ensayo realizado en condiciones de invernadero e hidroponía y su respectiva codificación de acuerdo con el método propuesto.

El inicio de floración se presentó a 30 días después de la siembra (dds), el cuajado de frutos

Cuadro 1. Experimentos empleados para validar el modelo propuesto que estima la acumulación diaria de materia seca en la biomasa aérea total del cultivo de tomate.

Ensayo	Cultivo	Lugar del ensayo	Sistema de riego	Suelo	Rendimiento	Ciclo	Cita
					t ha ⁻¹	ddp [§]	
MS 01	Tipo bola, indeterminado "Divino"	Culiacán, México	Goteo superficial en campo abierto	Vertisol	155.6	148	Burgueño <i>et al.</i> (1994)
MS 02	Tipo saladette, industrial determinado "M82-1-8 VF"	Gilat, Israel	Goteo subsuperficial en campo abierto	Haploxeralf	178.9	105	Martínez (1992)
MS 03						134	
MS 04						105	
MS 05						100	
MS 06	Tipo bola, indeterminado "Counter"					99	
MS 07						100	
MS 08		Wageningen, Holanda	Goteo superficial en invernadero	‡	‡	104	Heuvelink (1995)
MS 09						100	
MS 10	De Ruiter Seeds, Bleiswijk					95	
MS 11						106	
MS 12						112	
MS 13						140	
MS 14						120	

‡ No se especifica. † Sólo se reporta el valor de materia seca total a la cosecha. § ddp = días después de la plantación

inició a 37 dds, el crecimiento acelerado de frutos comenzó a 45 y, finalmente, el inicio de cosecha a 87 dds. Estas cuatro etapas son las que definieron la acumulación de materia seca. Durante la primera etapa de crecimiento del cultivo, que corresponde

desde la plantación hasta el inicio de la floración, hubo una escasa acumulación de materia seca (3% de la acumulación total). Posteriormente, en las etapas de amarre y crecimiento de frutos es donde ocurre una acumulación intensa de biomasa aérea; al inicio

Cuadro 2. Experimentos empleados para validar el modelo propuesto que estima la acumulación diaria de potasio en la biomasa aérea total del cultivo de tomate.

Ensayo	Tipo de tomate	Lugar del ensayo	Sistema de riego	Suelo	Rendimiento	Ciclo	Cita
					t ha ⁻¹	ddp [§]	
K 01	Saladette para proceso industrial "M82-1-8 VF"	Israel	Goteo superficial	Arcilloso [†]	160.0	100	Dafne (1984)
K 02	Tipo bola indeterminado "Hyb 675"	Israel	Goteo superficial	Arenoso [†]	127.0	150	Bar-Yosef <i>et al.</i> (1982)
K 03	Saladette para proceso industrial "Campbell 37"	EUA	Gravedad	‡	‡	112	Halbrooks y Wilcox (1980)
K 04	Tipo bola indeterminado "Divino"	Culiacán, México	Goteo superficial	Vertisol	155.6	148	Burgueño <i>et al.</i> (1994)
K 05	Tipo bola indeterminado "Divino"	Culiacán, México	Goteo superficial	Vertisol	150.0	150	Burgueño <i>et al.</i> (1995)

‡ No se indica clasificación de suelo. † No reportado. § ddp = días después de la plantación.

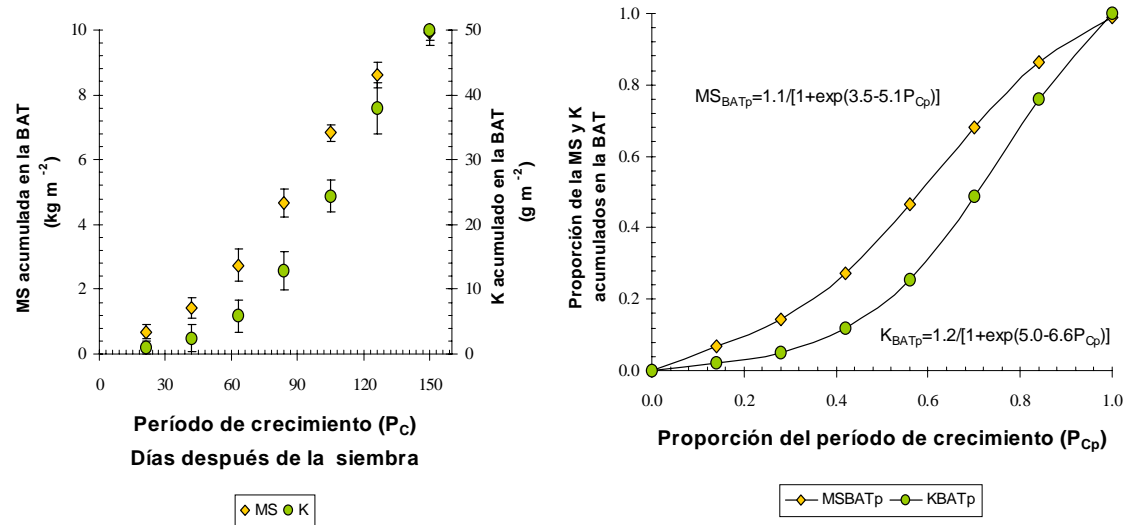


Figura 1. Tendencia de la acumulación de materia seca (MS) y potasio (K) en la biomasa aérea total (BAT) del tomate entre la fecha de siembra y la cosecha (P_C): a) Resultados experimentales (las barras verticales indican la desviación estándar de las repeticiones por muestreo); b). Codificación a valores proporcionales de materia seca (MS_{BATp}), potasio (K_{BATp}) y P_C (P_{Cp}).

de cosecha, el cultivo de tomate llega a 30% y el resto ($\pm 70\%$) durante la etapa de cosecha. Lo anterior indica que en el transcurso del período de corte de frutos es cuando el cultivo demanda mayor cantidad de nutrientes y, en consecuencia, cualquier déficit nutricional durante dicho lapso repercutirá, de manera negativa, sobre el rendimiento del cultivo.

Después del establecimiento del cultivo de tomate, se observa que la acumulación de K, al igual que la materia seca aérea, comienza a incrementarse de manera acelerada después de que ha ocurrido aproximadamente 30% del período de crecimiento y continúa en forma lineal ascendente hasta la cosecha cuando ocurre el crecimiento de los frutos. El incremento acelerado en la extracción de K es debido, en gran parte, a la formación y el crecimiento de frutos, los cuales llegan a constituir el principal órgano demandante de K, con valores de 70 a 80% de la cantidad total extraída por la planta (Bugarín *et al.*, 2002).

El hecho de acotar el período de crecimiento del cultivo de tomate en términos proporcionales en el modelo teórico propuesto, permite estimar la acumulación de materia seca y K en la biomasa aérea total para cualquier período del cultivo y, por ende, es posible calcular tanto la tasa de crecimiento, como de absorción de K.

Las variaciones que se presentan en las condiciones edafoclimáticas v.g. temperatura,

humedad relativa, radiación solar, pH y contenido de humedad edáfico, que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, son considerados de manera implícita en el modelo teórico porque se parte de la premisa que en el rendimiento del cultivo se expresa, de forma indirecta, el grado de estrés ocasionado por uno o más factores del ambiente en que se conduce el cultivo.

Validación de los Modelos Teóricos Propuestos

Acumulación diaria de materia seca. En la Figura 2, se presenta la tendencia de la acumulación de materia seca total del tomate entre la fecha de plantación y la cosecha, para cada uno de los ensayos evaluados, así como su respectiva simulación con el modelo teórico propuesto. La acumulación de materia seca mostró un incremento exponencial, seguido por una fase de crecimiento lineal, o sea, una tasa de crecimiento constante del cultivo. Con el modelo teórico propuesto se especula que la acumulación diaria de materia seca, independiente del hábito de crecimiento y tipo de tomate (saladette o bola), siga una tendencia similar en todos los casos, independientemente de las condiciones ambientales o manejo del cultivo. Cuando los valores absolutos de acumulación de materia seca (en Mg ha⁻¹) se transformaron a valores proporcionales, toda la dispersión ocurrida se ajustó al modelo teórico y en cada situación se depende sólo de

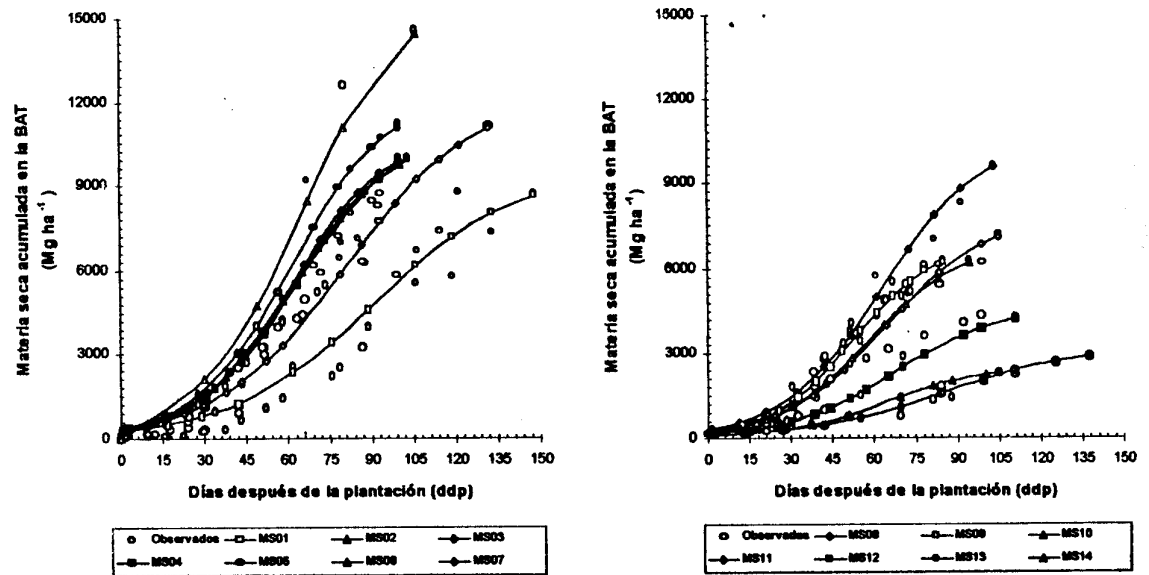


Figura 2. Tendencia de la acumulación de materia seca (MS) en la biomasa aérea total (BAT) del tomate en cada uno de los experimentos evaluados. La línea continua de cada ensayo representa la simulación de la MS obtenida a partir del modelo teórico propuesto, cuyas variables de entrada corresponden al rendimiento y duración del ciclo por experimento.

los valores máximos de acumulación y período de crecimiento del cultivo.

En la Figura 3, se relacionan los datos observados y estimados mediante regresión lineal, cuya ecuación fue altamente significativa ($R^2 = 0.93$, $P < 0.01$), por lo que puede señalarse que la función logística que simula la acumulación de materia seca del tomate es válida. En ciertos casos, y en particular a valores bajos de materia seca acumulada, existen algunos puntos que son subestimados por el modelo teórico; sin embargo, la mayor cantidad de valores observados pudieron simularse adecuadamente. La imprecisión de la simulación de estos datos observados no repercutió sobre la tendencia de la MS_{BTA} en tomate a lo largo de su ciclo de crecimiento y más aun, la MS_{BTA} al final de la cosecha fue similar entre los resultados observados y los estimados.

Por lo tanto, cabe señalar que la precisión de la simulación de la MS_{BTA} es aceptable, puesto que permitió estimarla satisfactoriamente a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo sin fuertes discrepancias, la cual denota alta correlación entre los datos estimados y los observados.

Acumulación diaria de potasio. En la Figura 4a están graficados los datos observados y estimados de la acumulación de K en la biomasa aérea (K_{BAT}) de tomate para proceso industrial y tomate bola para

consumo en fresco. Los valores estimados del K acumulado en la biomasa aérea total mediante el modelo teórico siguieron la misma tendencia de los valores observados durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo y presentan una relación entre sí altamente significativa con una R^2 de 0.98 (Figura 4b).

Después del establecimiento del cultivo, se observa que la acumulación de K comienza a incrementarse aceleradamente a partir de 40 ó 60 días después de la plantación (ddp), dependiendo del hábito de crecimiento y del ciclo del cultivo; el incremento en la acumulación de K es de manera lineal ascendente hasta la cosecha. Este incremento se debe, al igual que en el caso de la acumulación de materia seca, a la formación y el crecimiento de frutos, los cuales demandan altas cantidades de K (Adams, 1994; Bugarín *et al.*, 2002).

La estimación de la acumulación de K mediante el modelo teórico fue muy aceptable (Figura 4a), pero deberá considerarse que la tasa de acumulación de K varía a través del tiempo entre los tomates tipo saladette y los tomates bola para consumo en fresco, en virtud de que el período de crecimiento y rendimiento son distintos. Dichas variaciones pueden estimarse mediante el modelo propuesto, dado que ambos son acotados en términos proporcionales. Lo

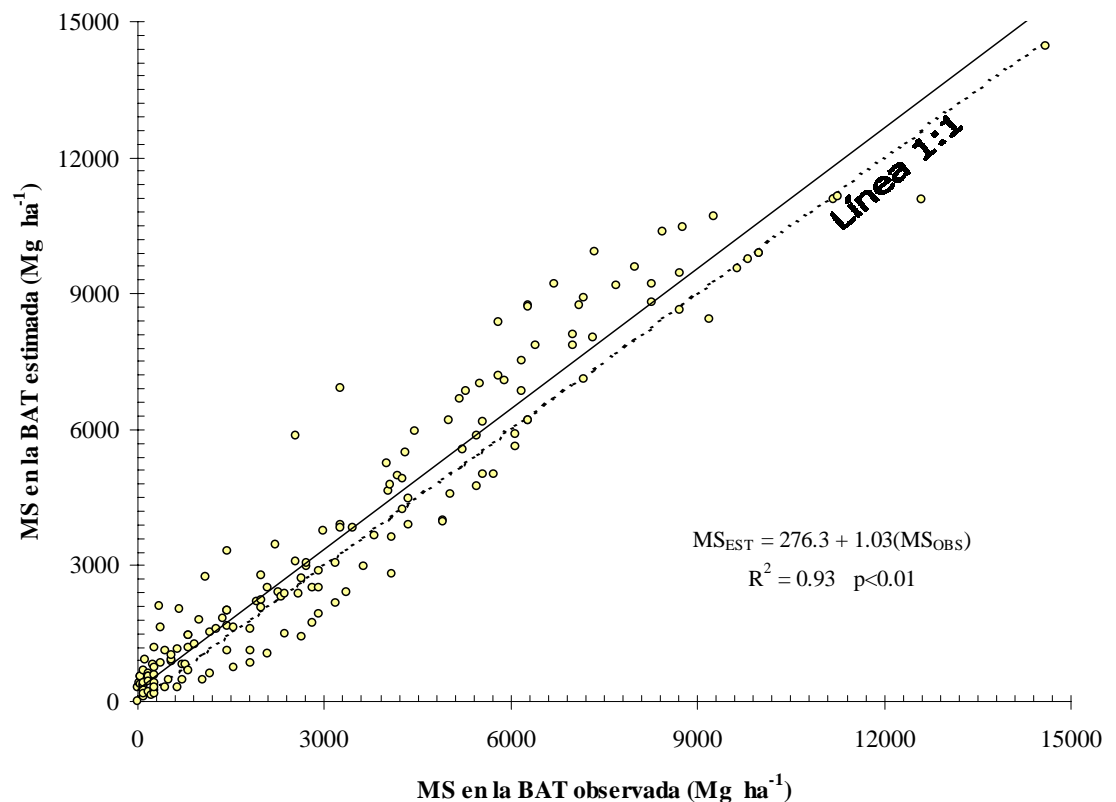


Figura 3. Comparación entre la materia seca acumulada (MS_{OBS}) en la biomasa aérea total (BAT), medida durante las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del tomate en los experimentos evaluados y sus correspondientes valores estimados (MS_{EST}) con el modelo teórico propuesto en el presente trabajo. La línea punteada indica la relación 1:1 entre los valores observados y estimados.

anterior permitirá decidir en forma acertada sobre la dosificación correcta del fertilizante potásico durante el ciclo de cultivo sobre todo cuando se manejan sistemas de fertirrigación mediante riego por goteo. A título de ejemplo, en los datos reportados por Dafne (1984) las tasas de absorción de K en tomate saladette variaron durante los primeros 40 ddp entre 0.10 y 2.30 $kg\ ha^{-1}\ d^{-1}$. Después de este lapso, la tasa de absorción de potasio se incrementó entre 8.00 y 9.20 $kg\ ha^{-1}\ día^{-1}$ hasta un poco antes de la cosecha. En el caso de tomate bola para consumo en fresco, de acuerdo con Bar-Yosef *et al.* (1982), la tasa de absorción durante los primeros 70 ddp, osciló de 0.40 a 0.60 $kg\ ha^{-1}\ d^{-1}$, mientras que en etapas posteriores varió de 2.20 a 7.80 $kg\ ha^{-1}\ d^{-1}$. Sin embargo, estos valores sobre la absorción de K a través del tiempo

serán diferentes para otras condiciones climáticas distintas a las que prevalecieron cuando se obtuvieron estos datos. Por tal motivo, el hecho de acotar el período de crecimiento del cultivo de tomate en términos proporcionales en el modelo teórico propuesto permite estimar de manera aproximada la acumulación y las tasas de absorción de potasio a través del tiempo.

Finalmente, al considerar una situación en donde no existe restricción sobre el suministro edáfico de potasio, entonces la tasa de absorción de nutrientes estará gobernada en un grado importante por la demanda de la planta, la cual depende a su vez de la edad de la planta y de las condiciones meteorológicas, así como del nivel de rendimiento.

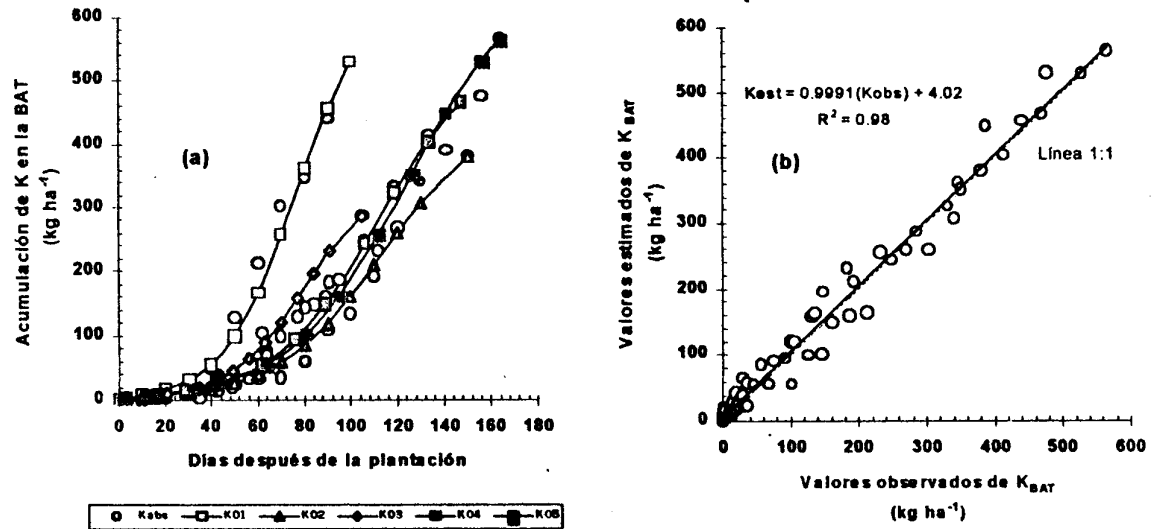


Figura 4. Resultados de la simulación de K. a) Tendencia de la acumulación de K en la biomasa aérea total (BAT) del tomate en cada uno de los experimentos evaluados; b) comparación entre valores observados de K acumulado en la BAT (K_{OBS}) durante las diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del tomate (K_{OBS}) en los experimentos evaluados y sus correspondientes valores estimados con el modelo teórico propuesto en el presente trabajo (K_{EST}). La línea punteada indica la relación 1:1 entre los valores observados y estimados.

CONCLUSIONES

La estimación de la acumulación diaria de materia seca y K por el cultivo de tomate con los modelos teóricos propuestos ($R^2 = 0.93$ y 0.98 , respectivamente) se validó de manera satisfactoria, independientemente del rendimiento obtenido, hábito de crecimiento del cultivo, condiciones edafoclimáticas y manejo practicado. Por lo tanto, el empleo de esta herramienta metodológica facilitará la toma de decisiones para regular la administración del K en el tomate cultivado con sistemas de fertirrigación mediante riego por goteo.

LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponics systems. *Acta Horticulturae* 361: 245-257.
- Bar-Yosef, B. 1999. Advances in fertigation. *Adv. Agron.* 65: 1-77.
- Bar-Yosef, B., S. Kramer y S. Ben Basat. 1982. Trickle irrigation and fertilization in the northern Arava Valley in Israel: Fresh tomatoes (cv. 975). Annual report. (in Hebrew). Agricultural Research Organization. Bet Dagan, Israel.
- Bertin, N. y E. Heuvelink. 1993. Dry-matter production in a tomato crop: Comparison of two simulation models. *J. Hort. Sci.* 68: 995-1011.
- Brouwer, R. 1962. Distribution of dry matter in the plant. *Neth. J. Agric. Sci.* 10: 361-376.
- Bugarin, M.R., A. Galvis S., P. Sánchez G. y D. García P. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra* 20: 391-399.
- Burgueño, H., F. Uribe y M. Valenzuela. 1994. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Vol 1. BURSAG S.A. de C. V. Culiacán, Sinaloa, México.
- Burgueño, H., J. Gómez R. y I. Montoya M. 1995. La fertirrigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. Vol 2. BURSAG S. A. de C. V. Culiacán, Sinaloa, México.
- Dafne, O. 1984. Nitrogen effect on dry matter production, mineral absorption, yield and quality of processing tomatoes. MSc thesis submitted to the Faculty of Agriculture (in Hebrew). The Hebrew University of Jerusalem. Israel.
- De Koning, A.N.M. 1989. Development and growth of a commercially grown tomato crop. *Acta Horticulturae* 260: 267-273.
- De Koning, A.N.M. 1993. Growth of tomato crop. Measurements for model validation. *Acta Horticulturae* 328: 141-146.
- Galvis, S.A., J. Etchevers B. y J. Rodríguez S. 1994. A system approach for determining NP fertilizer recommendations for annual crops. pp. 440-441. *In:* Vol. 5. II. Nutrient demand. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México.
- Galvis, S.A. 1998. Diagnóstico y simulación del suministro de nitrógeno edáfico para cultivos anuales. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Gary, C., J.W. Jones y M. Tchamitchian. 1998. Crop modelling in horticulture: State of the art. *Scientia Horticulturae* 74: 3-20.
- Halbrooks, M.C. y G.E. Wilcox. 1980. Tomato plant development and elemental accumulation. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105(6): 826-828.

BUGARIN-MONTOYA *ET AL.* ACUMULACION DE MATERIA SECA Y POTASIO EN BIOMASA AEREA EN TOMATE

- Heuvelink, E. 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: Periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae* 61: 77-99.
- Heuvelink, E. y L.F.M. Marcelis. 1989. Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Horticulturae* 260: 149-157.
- Jones, J.W., E. Dayan, L.H. Allen, H. van Keulen y H. Challa. 1991. A dynamic tomato growth and yield model (TOMGRO). *Trans Am. Soc. Agric. Eng.* 34: 663-672.
- Martínez, H.J.J. 1992. Plant response to subsurface fertigation with P and N fertilizers. Thesis Doctor of Philosophy submitted to The Hebrew University of Jerusalem. Israel.
- Rodríguez, S.J. 1990. La Fertilización de los cultivos. Un método racional. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Rodríguez, S.J., D. Pinochet T. y F. Matus B. 2001. Fertilización de los cultivos. Lom ediciones. Santiago de Chile, Chile.
- Spitters, C.J.T., H. van Keulen y D.W.G. van Kraalingen. 1989. A simple and universal crop growth simulator: SUCROS 87. pp. 147-181. *In*: R. Rabbinge, A.S. Ward y H.H. van Laar (eds.). Simulation and system management in crop protection. PUDOC. Wageningen, The Netherlands.
- Tap, R.F. y G. van Straten. 1995. Development of a reduced order tomato model. pp 1-6. *In*: Vol. VI.A.2. Proceeding First International Symposium on Mathematical Modelling and Simulation in Agriculture and Bio-Industries. Brussels, 9-12 May 1995.
- Van Keulen, H. and J. Wolf. 1986. Modelling of agricultural production: Weather, soils and crops. PUDOC. Wageningen, The Netherlands.