

DEMANDA DE POTASIO DEL TOMATE TIPO SALADETTE

Potassium Demand of Processing Tomato

R. Bugarín-Montoya¹, A. Galvis-Spinola², P. Sánchez-García² y D. García-Paredes¹

RESUMEN

El contenido de potasio en el tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) suele asociarse a la calidad de sus frutos en términos cualitativos; sin embargo, la cantidad de K que satisface a la demanda de este cultivo aún no está definida claramente. Por lo tanto, en el presente trabajo se determinó la influencia de la nutrición potásica sobre el rendimiento y la calidad de frutos de tomate saladette var. Yaqui, y se definió el requerimiento interno de K (RIK) en la biomasa aérea total. Para ello, se realizaron dos experimentos en invernadero con hidroponía. En el primero, se cuantificó el efecto de diferentes concentraciones de K ($Q_k = 3, 6$ y 9 meq L^{-1}) en la solución nutritiva sobre la producción y asignación de biomasa aérea, rendimiento y calidad de frutos, contenido y acumulación de K en la biomasa aérea. El segundo experimento tuvo el propósito de repetir la experiencia del experimento uno y verificar si valores mayores de Q_k (6, 9, 12, 15 y 18 meq L^{-1}) incrementaban la calidad de frutos. El contenido de K en la biomasa aérea total y la calidad de frutos (acidez titulable y firmeza) se incrementaron en razón directa al valor de Q_k sólo en el intervalo entre 3 y 9 meq L^{-1} , pero concentraciones mayores que 6 meq L^{-1} no tuvieron efecto significativo sobre la calidad de frutos. El rendimiento de frutos rojos y frutos totales (rojos + verdes) tampoco varió significativamente entre los tratamientos de K. La cantidad de K que demanda el cultivo del tomate para obtener altos rendimientos y excelente calidad puede estimarse de manera satisfactoria, empleando un RIK de 4.11%, lo que equivale a 3.27 kg de K por cada tonelada de fruto fresco producido.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., hidroponía, requerimiento interno de potasio, rendimiento, calidad de fruto.

SUMMARY

The content of potassium in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Yaqui is associated to fruit quality; however, the amount required is not yet clearly defined. In this study the influence of potassium nutrition on yield and fruit quality of processing tomatoes was determined. The internal requirement of K (RIK) in the aboveground dry matter was also defined. Two soilless experiments were carried out under greenhouse conditions. In the first experiment the effect of several K levels ($Q_k = 3, 6,$ and 9 meq L^{-1}) in the nutrient solution on production, aerial biomass allocation, harvest index (IC), as well as yield and fruit quality, was studied. The contents and accumulation of K in the aboveground area was also estimated. In the second experiment, higher levels of Q_k (6, 9, 12, 15, and 18 meq L^{-1}) were tested to check their influence on fruit quality. The amount of K in the aboveground area and fruit quality (titrable acidity and fruit firmness) increased in a direct way to the value of Q_k between 3 and 9 meq L^{-1} . Concentrations higher than 6 meq L^{-1} did not increase fruit quality significantly. The accumulation of dry matter and K was higher in fruits as compared to aerial biomass (stems and leaves). Within the treatment of Q_k , statistical effects were found in the IC from 0.54 to 0.60 g g^{-1} . The amount of K required by a tomato crop to obtain higher yields and good quality may be estimated with a RIK of 4.11%, which is equivalent to 3.27 kg K t^{-1} fresh fruit produced.

Index words: *Lycopersicon esculentum* Mill., soilless culture, internal potassium requirement, yield, fruit quality.

INTRODUCCION

La demanda nutrimental de un cultivo agrícola es la cantidad de nutrimento que se requiere para

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)

satisfacer sus funciones metabólicas durante su ciclo de crecimiento y desarrollo, la cual se calcula con base en la meta de rendimiento y el valor del requerimiento interno (RI) del nutrimento en cuestión (Rodríguez, 1990).

El RI se refiere a la concentración nutrimental óptima en la biomasa aérea total en el momento de la cosecha (Greenwood *et al.*, 1980). Este parámetro se ha validado exitosamente para N y P en cultivos anuales y praderas (Rodríguez, 1990; Galvis *et al.*, 1998), sin embargo, en hortalizas como el tomate aún no se ha definido claramente. Una forma de proceder para encontrar el valor del RI es mediante ensayos de campo con dosis crecientes del nutrimento de interés; sin embargo, la técnica de cultivos hidropónicos ofrece la posibilidad de controlar de manera más eficiente las concentraciones de nutrimentos en la solución nutritiva y observar su efecto en las plantas, lo cual representa una ventaja comparativa con los ensayos en suelo. El índice de cosecha (IC = rendimiento económico/biomasa aérea total) representa un valor que permite calcular la biomasa aérea total a partir del dato del rendimiento para un determinado sistema de producción y, con el requerimiento interno, es posible estimar la demanda nutrimental del cultivo y diferentes cantidades de producción (Rodríguez y Galvis, 1989).

Es común encontrar reportes que indican que el tomate rojo, al igual que muchos otros cultivos hortofrutícolas, requieren grandes cantidades de K acumulado en los frutos para lograr incrementar su calidad pero no definen esta magnitud (Adams, 1994). El criterio de la calidad es controvertido debido a que se define con base en las características organolépticas, las cuales dependen del genotipo (Poysa, 1992), manejo del agua (Mitchell y Shennan, 1991), salinidad (Adams, 1991; Li *et al.*, 2001), estado nutricional de la planta y condiciones ambientales en la raíz y parte aérea (Ho y Adams, 1995), así como el manejo de postcosecha (Kader *et al.*, 1978) e incluso el rendimiento es independiente de la calidad de los frutos cosechados (Ho, 1996). En tomates tipo saladette y bola, el principal atributo de calidad para consumo en fresco es la apariencia externa, en el que se incluyen color, tamaño, forma, firmeza, ausencia de defectos de maduración y frescura del cáliz cuando está presente en el fruto cosechado (Hobson y Kilby, 1984). También el sabor es una característica importante, la cual está relacionada con la cantidad de azúcares y ácidos orgánicos presentes en el fruto (Ho, 1996). En tomate

para proceso industrial, los parámetros de calidad más empleados son el contenido de sólidos solubles totales (°Brix), color, firmeza, pH y acidez titulable (AVRDC, 1994). Aun cuando la calidad del fruto está definida por varios atributos que dependen del manejo cultural y del genotipo, la nutrición potásica constituye un aspecto de manejo agronómico que permite incrementar la acidez titulable, firmeza, uniformizar la maduración y lograr un mejor sabor de fruto (Ho y Adams, 1995).

Con base en lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron a) determinar la influencia de la nutrición potásica sobre el rendimiento y la calidad de frutos de tomate; y b) definir el requerimiento interno de potasio (RIK), considerando la calidad del fruto.

MATERIALES Y METODOS

Se desarrollaron dos experimentos en condiciones de invernadero, empleando un sistema hidropónico de circuito cerrado. En el primer experimento, se evaluó la influencia de tres concentraciones de K ($Q_k = 3, 6$ y 9 meq L^{-1}) en la solución nutritiva sobre la producción y asignación de biomasa aérea e índice de cosecha (IC), así como en el rendimiento y la calidad de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) var. Yaqui tipo saladette de crecimiento determinado y se cuantificó el contenido y la acumulación de K en la biomasa aérea. En el segundo, se amplió el intervalo de exploración del K adicionado ($Q_k = 6, 9, 12, 15$ y 18 meq L^{-1}) con el propósito de verificar el efecto de este nutrimento sobre la calidad del fruto y fundamentar la obtención del RIK en tomate. En el primer experimento, el cultivo de tomate se inició mediante siembra directa en recipientes de PVC de 20 dm^3 con escoria volcánica basáltica¹ negra como sustrato, con una granulometría de 3 a 6 mm de diámetro. Se empleó un sistema de microchorro por capilares de 0.4 mm de diámetro para aplicar los riegos con la solución nutritiva, regulándolos con un temporizador automático y manteniendo la frecuencia de riego en períodos de una hora con duración de 5 min cada uno y un volumen aproximado de 720 mL por recipiente. En el período de germinación (cinco días), los riegos se suministraron con agua potable acidulada a pH 6.5 (± 0.1) con HNO_3 1N y su composición química fue la siguiente (en meq L^{-1}): 2.93 Na^+ , 0.22 K^+ , 0.38 Mg^{2+} , 0.39 Ca^{2+} , 0.1 SO_4^{2-} , 1.8 HCO_3^- y 1.97 Cl^- (CE 0.409 dS m^{-1} , pH 7.2;

¹ Localmente se conoce con el nombre de tezontle negro.

RAS 4.72: clasificación Normas Riverside; C₂S₁). Posteriormente, los riegos se iniciaron con una solución nutritiva diluida: i) a una tercera parte [conductividad eléctrica (CE) 0.6 dS m⁻¹] de su concentración original, hasta el estado de 2 a 3 hojas verdaderas; ii) a la mitad de su concentración original (CE 1.2 dS m⁻¹) hasta la formación de 5 a 6 hojas y, iii) utilizando la solución completa sin diluir de acuerdo con los tratamientos de K (CE de 1.9, 2.1 y 2.4 dS m⁻¹ para Qk de 3, 6 y 9 meq K⁺ L⁻¹, respectivamente). Los tratamientos consistieron en el suministro de estas tres concentraciones de K en la solución nutritiva y se estudiaron usando un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones.

La solución nutritiva empleada fue una modificación que se realizó a partir de la solución universal de Steiner (1961) y su composición base fue la siguiente (en meq L⁻¹): 10 NO₃⁻, 0.83 H₂PO₄⁻, 5.67 SO₄²⁻, 6 K⁺, 3.1 Mg²⁺ y 7.4 Ca²⁺. 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. Para proveer los macronutrientes, se utilizaron las siguientes fuentes comerciales: KNO₃, Ca(NO₃)₂·4H₂O, KH₂PO₄, K₂SO₄ y MgSO₄·7H₂O. Las fuentes de micronutrientes fueron sustancias grado reactivo: H₃BO₃, MnSO₄·4H₂O, ZnSO₄·7H₂O y CuSO₄·5H₂O. No se incluyó ninguna fuente específica de Mo. El Fe se suministró en forma de EDTA-Fe, preparado de acuerdo con la metodología propuesta por Steiner y Van Winden (1970). Cada 5 a 7 días se renovó la solución nutritiva y diariamente se ajustó el pH a 6-6.5 con HNO₃ 1N.

Durante el experimento, se realizaron siete muestreos del cultivo a 20, 34, 48, 62, 74, 98 y 144 días después de la siembra. Cada muestreo consistió en cosechar la planta completa, separando parte vegetativa y frutos; posteriormente, se lavaron con agua destilada y luego se secaron en estufa a 65 °C durante 72 h. Una vez obtenido el peso seco de cada una de las partes de la planta, el material se molió y se pasó a través de un tamiz de 20 mallas. El contenido de K en el tejido vegetal se analizó mediante digestión de las muestras con una mezcla de HNO₃-HClO₄ y se determinó K por flamometría (Alcántar y Sandoval, 1999). También se cuantificó el rendimiento (kg planta⁻¹) de frutos rojos y producción total (frutos rojos + verdes), así como el número de frutos por planta, peso promedio de frutos (g fruto⁻¹), contenido de materia seca en frutos (%), producción de materia seca total (g planta⁻¹) e índice de cosecha

(IC, g g⁻¹). Las características externas de los frutos se evaluaron considerando el color obtenido mediante la relación de los índices de cromaticidad a/b (colorímetro Hunter Lab, modelo 15062); la firmeza (gramo fuerza) se midió en términos de la deformación producida en el fruto colocado de manera horizontal, por compresión mediante puntal cónico en un medidor de fuerza (penetrómetro Chatillón, modelo FDV-30) con penetración de 2 mm. Para analizar las características internas de los frutos, se midió su pH directamente en la pulpa macerada; los sólidos solubles totales (°Brix) se determinaron con un refractómetro digital (Palette Atago PR-100) y la acidez titulable (% de ácido cítrico) se cuantificó neutralizando 10 mL de jugo de tomate con NaOH 0.1N para lo cual se utilizó fenolftaleína como indicador; la titulación finalizó al llegar a un pH de 8.3. Finalmente, el índice de madurez (adimensional) se calculó mediante la relación °Brix/acidez titulable. Valores en el intervalo de 12 a 18 indican un índice de madurez apropiado en muchas variedades de tomate (AVRDC, 1994).

Con el propósito de confirmar y fundamentar el valor del RIK en tomate, se estableció un segundo experimento en el cual se estudió un mayor ámbito de exploración de K (Qk = 6, 9, 12, 15 y 18 meq L⁻¹) en la solución nutritiva. Esto permitió observar si concentraciones mayores de K que las examinadas en el primer experimento incrementaban la calidad de frutos, lo cual pudiera modificar el valor del RIK previamente encontrado en dicho experimento. En este caso, se utilizó un sistema hidropónico por subirrigación, compuesto por bancales (0.4 x 2.5 x 0.4 m) elevados a 0.5 m con respecto al suelo. Se mantuvo una relación de 20 L de solución nutritiva por planta en cada riego para lograr mayor capacidad de amortiguamiento en la solución. El manejo del cultivo así como los materiales y métodos fueron similares al experimento anterior, y las variables medidas fueron sólo aquellas concernientes a la calidad del fruto en el momento de la cosecha del primer racimo: color, índice de madurez, °Brix, acidez titulable (% de ácido cítrico), pH y firmeza.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de Frutos y Biomasa Seca Aérea

El rendimiento de frutos rojos se incrementó linealmente con la concentración de K (Qk) en la solución nutritiva, aunque no se encontraron

diferencias significativas (Cuadro 1). El rendimiento total de frutos (rojos + verdes) tampoco difirió entre los tratamientos de potasio. Se presentó una tendencia negativa entre Qk y el peso promedio de fruto debido a que las plantas produjeron menor cantidad de frutos a valores bajos de Qk.

En el tratamiento de 3 meq K L⁻¹ en la solución nutritiva se presentó una deficiencia típica de K en las hojas de tomate, pero esto no ocasionó que disminuyera la acumulación de materia seca en la biomasa aérea en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 1). Al respecto, Pujos y Morard (1997) encontraron que una deficiencia permanente o temporal de K en plantas jóvenes de tomate con hábito de crecimiento indeterminado no ocasionó una disminución significativa en el peso seco de la parte vegetativa ni de frutos, lo que concuerda con lo obtenido en la presente investigación.

La acumulación de biomasa seca fue mayor significativamente (P < 0.01) en los frutos (246.5, 257.9 y 209.8 g planta⁻¹) que en la parte vegetativa (tallos + hojas) con valores de 164.3, 198.5 y 189.6 g planta⁻¹ para Qk de 3, 6 y 9 meq L⁻¹, respectivamente. La mayor acumulación de materia seca en los frutos con respecto al resto de la planta durante la etapa de fructificación también se ha reportado previamente en tomate de crecimiento indeterminado (Hurd *et al.*, 1979; Heuvelink y Marcelis, 1989). Existen evidencias que dicha relación es producto de una alta demanda metabólica y ocurre aun cuando existen diferencias fenotípicas entre las distintas variedades de dicha especie; sin embargo, el orden de prioridad en la asignación de asimilados cambia con la etapa fenológica, esto es, durante la floración se tiene el orden siguiente: raíces > hojas jóvenes > flores, mientras que en la fructificación es:

frutos > hojas jóvenes > flores y raíces (Ho, 1996), lo cual explica lo encontrado en la presente investigación.

El hecho de propiciar menor asignación de biomasa en el dosel vegetal al emplear Qk de 3 meq L⁻¹ con respecto a los demás tratamientos y una biomasa muy similar en los frutos en todos los tratamientos, permitió obtener un índice de cosecha (IC) mayor para este tratamiento que con Qk de 6 y 9 meq L⁻¹ (Cuadro 1). Los valores del IC en estos últimos dos tratamientos son comparables con los reportados por Mitchell *et al.* (1991) en tomate cv. UC82B. El alto valor de IC, obtenido con el tratamiento de 3 meq K L⁻¹, fue producto de que hubo una restricción del crecimiento del dosel vegetal debida a la falta de una adecuada nutrición potásica, lo que ocasionó que el cociente (rendimiento económico/biomasa aérea total) que define el IC se incrementara. Dicha restricción coincidió con la aparición de un amarillamiento en el borde de los foliolos, síntoma asociado a una deficiencia de K. Por lo tanto, las concentraciones de 6 y 9 meq K L⁻¹ en la solución nutritiva promovieron mejor crecimiento vegetal que 3 meq K L⁻¹.

En el Cuadro 1, se observa también que no existió ganancia en la concentración porcentual de materia seca en el fruto con la adición creciente de K y difiere de lo obtenido por Adams y Grimmett (1986). Probablemente esto se explique por el hecho de que el fruto de tomate acumula más agua que cualquier otro órgano de la planta, llegando a valores de 94% (De Koning, 1989) y, por consiguiente, sea difícil incrementar la materia seca en el fruto mediante la adición de K, dado que este elemento tiene un efecto hidratante en la célula (Marschner, 1986).

Cuadro 1. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva (Qk) sobre las variables de rendimiento de tomate var. Yaqui, cultivado en hidroponía.

Qk meq L ⁻¹	Peso fresco de frutos		PPF [†] g planta ⁻¹	NFR [‡]	MSF [§] %	MST [¶] g planta ⁻¹	IC [#] g g ⁻¹
	Rojo	Rojo + verde					
3	4.67	5.63	112.0	41.8 b	4.38	426.6	0.60 a
6	5.58	5.93	103.4	53.5 ab	4.35	444.0	0.54 b
9	5.68	5.78	102.7	53.8 a	3.63	439.3	0.56 b
ANAVA: probabilidad >F							
Qk	0.1585	0.8752	0.1243	0.0352	0.5774	0.8776	0.0301

[†] PPF = Peso promedio de fruto; [‡] NFR = Número de frutos rojos por planta; [§] MSF = Contenido de materia seca en frutos; [¶] MST = Materia seca total; [#] IC = Índice de cosecha. Cifras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, • = 0.05).

Cuadro 2. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva (Qk = 3, 6 y 9 meq L⁻¹) sobre las variables de calidad de frutos (rojo-maduro) de tomate var. Yaqui, cultivado en hidroponía. Primer experimento.

Qk	Indice de color a/b	Firmeza gramo fuerza	°Brix	AT [†] % ac. cítrico	IM [‡] °Brix/AT	pH
3	1.42	182	3.90	0.199 b	19.79 a	5.13
6	1.43	210	3.96	0.300 a	13.20 b	5.23
9	1.30	229	4.20	0.323 a	12.98 b	5.16
ANAVA: Probabilidad > F						
Qk	0.4145	0.3480	0.5462	0.0002	0.0079	0.5008

[†]AT = Acidez titulable; [‡]IM = Índice de madurez. Cifras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, • = 0.05).

Calidad de Frutos

En el Cuadro 2, se presentan los resultados obtenidos al evaluar diferentes concentraciones de K en la solución nutritiva (Qk = 3, 6 y 9 meq L⁻¹) sobre la calidad del fruto. Existió un incremento significativo (P < 0.01) en el contenido de acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico) con la adición de cantidades crecientes de K. Al igual que otros ácidos orgánicos, la acumulación de ácido cítrico en los frutos se debe al mecanismo de balance de carga catión-anión que tiene lugar cuando el K⁺ es transportado sin un anión acompañante, por ejemplo, NO₃⁻ hacia el interior del citoplasma (Marschner, 1986).

Con respecto a la firmeza, se observó que la fuerza aplicada para producir la deformación de los frutos de tomate fue 0.15 y 0.25 veces mayor con Qk de 6 y 9 meq L⁻¹, respectivamente, que 3 meq K L⁻¹, pero esta diferencia fue no significativa (Cuadro 2). Los sólidos solubles totales (°Brix) aunque también se relacionaron con Qk no tuvieron diferencias significativas y el pH del fruto tampoco se modificó con los tratamientos de K (Cuadro 2).

Mediante el segundo experimento, en el cual se amplió el ámbito de exploración de Qk (6, 9 12, 15 y 18 meq L⁻¹), se confirmó que incrementos en la concentración de K superiores a 6 meq L⁻¹ en la solución nutritiva no permitieron obtener mayor ganancia en los parámetros de calidad (Cuadro 3), comparados con el primer experimento (Cuadro 2). Sólo se encontraron diferencias estadísticas en el pH de los frutos con valores de 4.8 a 5.0 entre tratamientos (Cuadro 3), pero en la práctica esto no representa mayor importancia. A cada uno de los parámetros identificados en el primer experimento como principales indicadores de calidad de frutos de tomate (acidez titulable, °Brix y firmeza) que se relacionaron más estrechamente con el K adicionado

en la solución nutritiva, se les ajustó una función exponencial ascendente que resultó estadísticamente significativa (P < 0.01) (Cuadro 4), lo cual confirma la tendencia asintótica entre el valor de Qk y los parámetros de calidad evaluados.

El interés de definir las ecuaciones del Cuadro 4, estriba en que éstas permitieron calcular por interpolación los valores máximos de Qk a partir de los cuales ya no fue posible seguir incrementando los valores de los parámetros considerados. Por ejemplo, en el caso de acidez titulable (% de ácido cítrico), el valor de Qk estimado (7.4 meq K L⁻¹) mediante la ecuación ajustada representa la concentración de K en la solución nutritiva a partir de la cual ya no es posible seguir incrementando el valor de acidez titulable (0.35% de ácido cítrico) en relación con el valor máximo obtenido (0.40% de ácido cítrico) en los experimentos. Una explicación similar a lo anterior es para el caso de °Brix y firmeza de frutos. Cabe aclarar que el valor de los parámetros de las ecuaciones ajustadas puede cambiar para los diversos genotipos de tomate, puesto que de manera natural se encuentran variaciones en los valores de los índices de calidad (AVRDC, 1994). Sin embargo, el efecto de la adición de K en la solución nutritiva sobre los índices de calidad del fruto pudo ser representado mediante estas

Cuadro 3. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva (Qk = 6, 9, 12, 15 y 18 meq L⁻¹) sobre las variables de calidad en frutos (rojo-maduro) de tomate, var. Yaqui, cultivado en hidroponía. Segundo experimento.

Variable	Probabilidad>F
Indice de color a/b	0.4875 ns
Firmeza (gramo fuerza)	0.4972 ns
°Brix	0.1053 ns
Acidez titulable (% ac. cítrico)	0.4832 ns
Indice de madurez (°Brix/AT)	0.6539 ns
pH	0.0200 *

ns = diferencias estadísticas no significativas.

* Significativas con • = 0.05.

Cuadro 4. Modelos de regresión empleados para ajustar la tendencia de la acidez titulable, grados brix y firmeza de frutos en estado rojo-maduro en función de la concentración de K (Qk) en la solución nutritiva (Datos de Experimentos 1 y 2).

Modelo teóricos ajustados [†]	R ²	Qk estimado [‡]	Valor del índice de calidad [§]
AT [§] = 0.40[1-exp(-0.28Qk)]	0.95 **	7.4	0.35
°Brix = 4.40[1-exp(-0.5Qk)]	0.77 **	5.4	4.1
FF [¶] = 250[1-exp(-0.22Qk)]	0.74 **	7.6	203.0

** P < 0.01.

[†] Ecuaciones matemáticas del tipo $Y = A[1 - \exp(-bx)]$. Donde: Y representa el valor estimado de la variable dependiente, A valor de la asíntota, b pendiente de la función exponencial y x es el valor de la variable independiente.

[‡] Valores obtenidos por interpolación a partir de las ecuaciones exponenciales.

[§] AT = acidez titulable (% de ácido cítrico). [¶] FF = firmeza de fruto (gramo fuerza).

ecuaciones exponenciales, lo que permite establecer que mayores dosis de K no incrementarán la calidad del fruto.

Otros aspectos del manejo agronómico que pueden considerarse para incrementar el contenido de sólidos solubles (°Brix) y acidez titulable sin disminución del rendimiento, son el empleo de períodos cortos de déficit de agua y el aumento en la salinidad, dado que afectan la acumulación de agua en los frutos (Mitchell *et al.*, 1991). Ho *et al.* (1987) sugirieron que las sales de K regulan el potencial osmótico del fruto de tomate en condiciones de alta salinidad en virtud que participan en 49% del potencial hídrico en los frutos. Asimismo, indican que en condiciones de déficit hídrico, las más altas concentraciones de K en frutos se debieron sólo a que existió una reducción en el contenido de agua en el fruto, por lo que ocurrió mayor concentración y no porque se haya incrementado la importación de K al fruto. Adams y Ho (1989) lograron incrementar la concentración de materia seca en el fruto de 5.4 a 7.7% al aumentar la salinidad de la solución nutritiva. Sin embargo, cuando se cultiva tomate en un ambiente salino con una CE superior a 5 dS m⁻¹, se reduce el rendimiento y se incrementa la pudrición apical de frutos (Li *et al.*, 2001). En el presente estudio, los valores de CE de la solución nutritiva en los tratamientos de K fueron menores que 2.4 dS m⁻¹ y no incrementaron la concentración porcentual de materia seca en el fruto, lo cual explica por qué el contenido de °Brix se mantuvo sin variación significativa entre los tratamientos de K.

El color de los frutos determinado por la relación entre los índices de cromaticidad a/b fue similar, oscilando de 1.30 a 1.42 en todo el espacio de exploración de Qk (Cuadro 2). Si se considera esta referencia como indicador de la madurez (que es el procedimiento común en el comercio), la evaluación de calidad en el presente estudio se realizó en el mismo estado de madurez de frutos para todos los tratamientos de K y las variaciones obtenidas fueron resultado del suministro variable de K en la solución nutritiva. Sin embargo, es conveniente mencionar que el índice de madurez obtenido a partir de la relación °Brix/acidez titulable alcanzó un valor máximo de 19.79 para Qk 3.0 meq L⁻¹, atribuido en su mayor parte a un bajo valor en la acidez titulable. En los demás tratamientos, este índice fue de 13.2 y 12.98 para 6 y 9 meq L⁻¹ de K, respectivamente. Un bajo abastecimiento de K altera esta relación, por lo que los frutos retrasan su maduración, aunque se tenga el mismo índice de color a/b. Esto indica que, además del color a/b, es necesario emplear la relación °Brix/acidez titulable como indicador del grado de madurez y calidad del fruto.

Contenido y Extracción Nutricional de K.

El contenido de K en la planta no tuvo asociación con el rendimiento de frutos, pero sí influyó de manera significativa sobre la calidad de los mismos, aunque su efecto se restringió en un intervalo pequeño de Qk (3 a 6 meq L⁻¹). Esto indica que es indispensable hacer un manejo racional del K, ya que aplicaciones excesivas de este nutriente no repercutirán en una mejor calidad de la producción. En el Cuadro 5, se presenta la variación en el contenido porcentual y extracción de K en la parte vegetativa y frutos, así como en la biomasa aérea total en función de Qk.

A medida que existió un incremento en el suministro de K (Qk), el contenido de K en el dosel vegetal y frutos aumentó, lo que ocasionó que las cantidades de K extraído por la biomasa aérea total, así como en la parte vegetativa y frutos también se incrementara de manera significativa (Cuadro 5; Figura 1).

La acumulación de K extraído en la biomasa aérea total aumentó de manera directa con el valor de Qk, y dicho elemento se distribuyó principalmente en los frutos (Figura 1), pero no repercutió sobre el rendimiento de frutos ni en la producción de materia

Cuadro 5. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva (Qk) sobre la concentración y extracción de K en la parte aérea vegetativa (B_{AV}), frutos y biomasa aérea total (B_{AT}) de tomate var. Yaqui en el momento de la cosecha.

Qk	Contenido de K		Extracción de K			K _{BAT} [†]
	B _{AV}	Frutos	B _{AV}	Frutos	B _{AT}	
meq L ⁻¹	----- % -----		----- g planta ⁻¹ -----			%
3	1.50 b	4.29 c	2.47 b	11.25 b	13.72 b	3.20 a
6	2.43 ab	5.47 b	4.83 a	13.42 ab	18.25 ab	4.11 b
9	3.28 a	6.09 a	6.24 a	15.21 a	21.45 a	4.88 c
ANAVA: Probabilidad > F						
	0.0032	0.0001	0.0055	0.0324	0.0089	0.0001

[†]K_{BAT} = K en la biomasa aérea total. Cifras con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, • = 0.05).

seca (Cuadro 1) aunque sí en la calidad de los frutos (Cuadro 2). Los frutos de tomate en estado de crecimiento activo constituyeron el principal órgano demandante de K con valores de hasta 70 a 80% de la cantidad total de K extraída por la planta de tomate variedad Yaqui (Cuadro 5), el cual es requerido para uniformar la maduración e incrementar la acumulación de ácidos orgánicos en los frutos, logrando con ello buena calidad y sabor (Van Lune y Van Goor, 1977; Ho y Adams, 1995). En tomates indeterminados, 60% de K extraído por la planta es debida a los frutos (Tapia y Gutiérrez, 1997). El K constituye de 86 a 90% de los cationes totales acumulados en el fruto de tomate (Besford y Maw, 1975) y de esta cantidad, aproximadamente 64% del K total absorbido por los frutos está localizado en el pericarpio (Mitchell *et al.*, 1991). Esta acumulación intensiva de K por los frutos de tomate es

principalmente a partir de la savia del floema junto con los asimilados (Ho y Adams, 1995).

Por las razones anteriormente expuestas, un aspecto importante a considerar en el cálculo de la demanda de potasio en hortalizas de fruto como el tomate, a diferencia de cultivos de cereales, es su efecto significativo en la calidad del producto cosechado.

Requerimiento Interno de K

La concentración de K en la biomasa aérea (K_{BAT}) se incrementó de 3.2% de K para Qk de 3 meq L⁻¹ a 4.11 y 4.88% para Qk de 6 y 9 meq L⁻¹, respectivamente, de acuerdo con el primer experimento (Cuadro 5). Por lo tanto, cualquiera de estas dos últimas concentraciones de K en la biomasa aérea podrían corresponder al valor del requerimiento interno de potasio (RIK), dado que los tratamientos donde se obtuvieron promovieron el máximo rendimiento y calidad de frutos (Cuadros 1, 2 y 3). Al no encontrar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de 6 y 9 meq K L⁻¹ resulta más favorable en la práctica seleccionar 4.11% de K como el valor del RIK para tomate, puesto que el consumo de fertilizante potásico sería menor con el consiguiente ahorro económico que esto representa sin desmeritar la calidad del producto cosechado.

Los resultados del segundo experimento demostraron que concentraciones de Qk mayores que 6 meq L⁻¹ no propiciaron un incremento significativo en la calidad de los frutos, puesto que fue similar en todos los casos (Cuadro 3) e incluso al incrementar Qk arriba de esta concentración se propició una mayor producción de frutos con pudrición apical (datos no mostrados) por una probable deficiencia de calcio inducida por antagonismo con el K (Van Lune y Van Goor, 1977). En este sentido, de acuerdo con el concepto de RI propuesto por Greenwood *et al.*

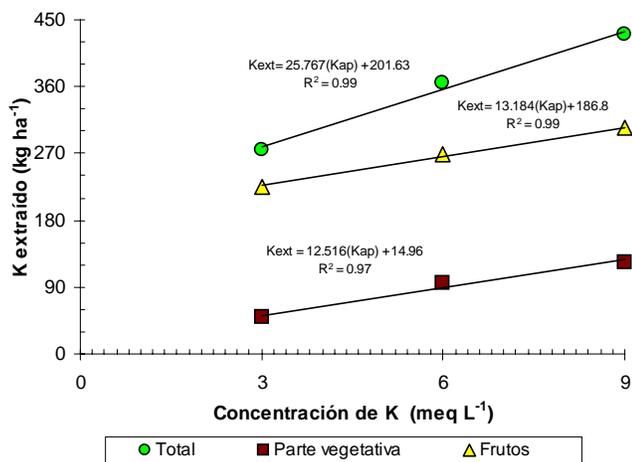


Figura 1. Variación del K extraído (Kext) a la cosecha en la parte vegetativa (tallos + hojas), frutos y biomasa aérea total del tomate var. Yaqui en función de la concentración de K (Kap) en la solución nutritiva.

(1980), el valor de 4.11% K en la biomasa aérea que se obtuvo con el tratamiento de 6 meq L⁻¹ (definido en el primer experimento) adquiere mayor fundamento. Estos investigadores demostraron que el porcentaje de K en la materia seca de varios cultivos hortícolas en el momento de la cosecha fue un buen indicador de la restricción del crecimiento vegetal debida a este nutrimento. Por lo tanto, a partir de la relación entre la concentración del nutrimento y el peso de materia seca total, es posible estimar la extracción del nutrimento para distintas producciones de biomasa.

En función del rendimiento de frutos y extracción total de K, fue posible también calcular la cantidad de K extraído por tonelada de fruto producido dando valores de 2.95, 3.27 y 3.77 kg t⁻¹ de fruto cosechado, para Q_k de 3, 6 y 9 meq L⁻¹, respectivamente. Sin embargo, dado que con Q_k de 6 meq L⁻¹ fue posible lograr el máximo rendimiento y óptima calidad de frutos, se determinó que el valor de 3.27 kg de K t⁻¹ de fruto producido es una alternativa para calcular la demanda nutrimental de K en tomate saladette var. Yaqui.

CONCLUSIONES

El contenido y la acumulación de K en la biomasa aérea de tomate varió en relación directa con la concentración de K presente en la solución nutritiva (Q_k). Sin embargo, esto no repercutió sobre la producción de materia seca total y rendimiento de frutos. La mayor calidad de frutos se obtuvo a partir de Q_k igual a 6 meq L⁻¹ y se mantuvo indistintamente de la concentración de K aplicada (Q_k > 6 meq L⁻¹). Por lo tanto, se concluye que el cultivo de tomate saladette var. Yaqui demanda 3.27 kg de K t⁻¹ de frutos para obtener un óptimo rendimiento y calidad de tomates, lo que equivale a 4.11% de requerimiento interno de potasio.

LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrient or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hortic. Sci.* 66: 210-217.
- Adams, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponics systems. *Acta Horticulturae* 361: 245-257.
- Adams, P. y M.M. Grimmett. 1986. Some responses of tomatoes to the concentration of potassium in recirculating nutrient solutions. *Acta Horticulturae* 178: 29-35.
- Adams, P. y L.C. Ho, 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hortic. Sci.* 64: 725-732.
- Alcántar G., G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- AVRDC. Asian Vegetable Research and Development Center. 1994. AVRDC 1993 Progress Report. Shanhua, Tainan, Taiwan (ROC).
- Besford, R.T. y G.A. Maw. 1975. Effect of potassium nutrition on tomato plant growth and fruit development. *Plant Soil* 42: 395-412.
- De Koning, A.N.M. 1989. Development and growth of a commercially grown tomato crop. *Acta Horticulturae* 260: 267-273.
- Galvis S., A., E. Alvarez S. y J.D. Etchevers B. 1998. A method to quantify N fertilizer requirement. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 155-162.
- Greenwood, J.D., T.J. Cleaver, M.K. Turner, J. Hunt, K.B. Niendorf y S.M.H. Loquens. 1980. Comparison of the effects of potassium fertilizer on the yield, potassium content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. *J. Agric. Sci. Camb.* 95: 441-456.
- Heuvelink, E. y L.F.M. Marcelis. 1989. Dry matter distribution in tomato and cucumber. *Acta Horticulturae* 260: 149-157.
- Ho, L.C. 1996. Tomato. pp. 709-728. *In*: E. Zamsky y A.A. Schaffer. Photoassimilate distribution in plants and crops. Marcel Dekker. New York.
- Ho, L.C. y P. Adams. 1995. Nutrient uptake and distribution in relation to crop quality. *Acta Hort.* 396: 33-44.
- Ho, L.C., R.I. Grange y A.J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant, Cell and Environment* 10: 157-162.
- Hobson, G.E. y P. Kilby. 1984. Rapid assessment of tomato composition during high quality fruit production and distribution. *Acta Hort.* 163: 47-54.
- Hurd, R.G., A.P. Gay y G.A. Mountifield. 1979. The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Ann. Appl. Biol.* 93: 77-89.
- Kader, A.A., L.L. Morris, M.A. Stevens y M. Albright-Holton. 1978. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest procedures. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 103: 6-13.
- Li, L.Y., C. Stanghellini y H. Challa. 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato. *Scientia Horticulturae* 88: 11-29.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition on higher plants. Academic press. London, UK.
- Mitchell, J.R. y C. Shennan. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116: 215-221.
- Mitchell, J.P., C. Shennan y S.R. Grattan. 1991. Developmental changes in tomato fruit composition in response to water deficit and salinity. *Physiol. Plant* 83: 177-185.
- Poysa, V. 1992. Use of *Lycopersicon cheesmanii* and *L. chmielewskii* to increase dry matter content of tomato fruit. *Can. J. Soil Sci.* 73: 273-279.
- Pujos, A. y P. Morard. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant Soil* 189: 189-196.
- Rodríguez S., J. 1990. Fertilización de cultivos. Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

- Rodríguez S., J. y A. Galvis-Spinola. 1989. Dinámica del potasio en los suelos del país. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil* 15: 134-154.
- Steiner, A.A. y H. van Winden. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46: 862-863.
- Tapia L., M. y V. Gutiérrez. 1997. Distribution of dry weight, nitrogen, phosphorus, and potassium through tomato ontogenesis. *J. Plant Nutrition* 20(6): 783-791.
- Van Lune, P. y B.J. van Goor. 1977. Ripening disorder of tomatoes as affected by the K/Ca ratio in the culture solution. *J. Hort. Sci.* 52: 173-180.