

NUTRICIÓN POTÁSICA DEL BRÓCOLI (*Brassica oleracea*) CON MANEJO CONVENCIONAL Y FERTIRRIGACIÓN EN UN VERTISOL EN INVERNADERO

POTASSIUM NUTRITION OF BROCCOLI (*Brassica oleracea*) WITH CONVENTIONAL MANAGEMENT AND FERTIGATION IN A VERTISOL IN GREENHOUSE

J. Luis Vidal-Martínez¹, Roberto Núñez-Escobar¹, Ignacio Lazcano-Ferrat³, Jorge D. Etchevers-Barra¹ y Rogelio Carrillo-González²

¹Edafología, ²Recursos Naturales. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. ³Instituto de la Potasa y el Fósforo A. C. (Potash and Phosphate Institute). 76000. Querétaro, Querétaro. México. (inpfos@mns.com)

RESUMEN

La mayoría de los suelos agrícolas de México tienen un buen abastecimiento de potasio, porque están en zonas áridas o volcánicas, la ceniza es rica en este nutrimento. Estos suelos no requieren la fertilización potásica en cultivos básicos, pero es una práctica usual para los cultivos más demandantes. La información sobre la fertilización de cultivos hortícolas es insuficiente, especialmente en fertirriego. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue obtener información para generar recomendaciones de fertilización potásica de brócoli en fertirriego. El experimento se desarrolló en Montecillo, Estado de México, en invernadero, con el cultivar de brócoli Heritage, usando un Vertisol de Celaya, Guanajuato, de marzo a julio de 2003. Se usó un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos: dos manejos de cultivo (convencional y fertirriego) y cuatro niveles de K ($K_0=0$, $K_1=70$, $K_2=140$ y $K_3=210$ mg K kg⁻¹ suelo; 9 kg suelo por maceta). Cada tratamiento se repitió 12 veces. Los resultados se analizaron estadísticamente como factorial 2×4, con dos repeticiones para cada uno de los cuatro muestreos realizados durante el desarrollo del cultivo y cuatro repeticiones a la cosecha. Las variables de respuesta fueron rendimiento, peso de la biomasa (fresco y seco), concentración de K en la planta, y la dinámica del K hidrosoluble, intercambiable y no intercambiable del suelo. Los rendimientos medios de brócoli en fertirrigación fueron 33.5% superiores a los de manejo convencional. Las extracciones de K por el cultivo en fertirrigación fueron 83.8% superiores a las del cultivo con manejo convencional. El tratamiento K_2 elevó significativamente el rendimiento de brócoli pero sólo con el manejo convencional. Hubo mayor absorción de K en el fertirriego por un suministro más adecuado de agua, lo que ayuda a economizar agua y fertilizante.

Palabras clave: *Brassica oleracea* var., extracción nutrimental, fertilización.

ABSTRACT

Most agricultural soils in México are rich in potassium because they are located in arid or volcanic zones, and volcanic ash is rich in this nutrient. These soils do not require potassium fertilization in field crops; however, it is a usual practice in the more demanding crops. Information on fertilization of horticultural crops is insufficient, especially fertigation. Therefore, the objective of this study was to obtain information to generate recommendations for fertilizing broccoli with potassium under fertigation. The experiment was conducted in Montecillo, State of México in a greenhouse with the cultivar Heritage in a Vertisol from Celaya, Guanajuato, from March to July, 2003. The experimental design was randomized complete blocks with eight treatments: two crop management systems (conventional and fertigation) and four levels of K ($K_0=0$, $K_1=70$, $K_2=140$ and $K_3=210$ mg K kg⁻¹ soil; 9 kg soil per pot). Each treatment was replicated 12 times. The results were analyzed statistically as a 2×4 factorial with two replications for each of the four samplings taken during the development of the crop and four replications at harvest. The response variables were yield, biomass weight (fresh and dry), K concentration in the plant, and dynamics of water-soluble, exchangeable and non-exchangeable K in the soil. The mean yields of broccoli under fertigation were 33.5% higher than conventional management. The extractions of K by the crop under fertigation were 83.8% higher than those under conventional management. K_2 treatment significantly increased the yield of broccoli but only under conventional management. There was greater absorption of K under fertigation because of a more adequate supply of water, which helped to economize water and fertilizer.

Key words: *Brassica oleracea* var. nutrient extraction, fertilization.

INTRODUCTION

Broccoli is the most important vegetable crop in the El Bajío region of Guanajuato. Occupying an area of 35 000 ha (Lazcano *et al.*, 1997), it contributes 69% of the total agricultural production of the State and 55% of the total production of broccoli in

INTRODUCCIÓN

El brócoli es el cultivo hortícola de mayor importancia en el Bajío guanajuatense, pues ocupa una superficie de 35 000 ha (Lazcano *et al.*, 1997), aporta 69% del valor total de la producción agrícola del Estado y el 55% de la producción total de brócoli en el país (Claridades Agropecuarias, 1999). Los suelos en que se cultiva corresponden en su mayoría al orden Vertisol, que cubren 12 800 km², esto es 40.9% de la superficie total del Estado de Guanajuato (INEGI, 2002).

Los Vertisoles se caracterizan por su textura arcillosa, y los de Guanajuato se consideran bien abastecidos de K para los requerimientos de los cereales (Dudal, 1965). Sin embargo, la alta demanda de este nutrimento por las hortalizas hace que la fertilización potásica sea una práctica regular para el brócoli, cuyo rendimiento medio es 11.6 Mg ha⁻¹ en manejo convencional (Bancomext, 2001) y 24 Mg ha⁻¹ en fertirrigación por goteo (Castellanos, 1998).

Los rendimientos de brócoli en el Bajío con el manejo convencional son un poco mayores a 12 Mg ha⁻¹. Sin embargo, esta producción depende de las condiciones edafoclimáticas y del uso de fertilizantes. El rendimiento comercial promedio de los cultivares de brócoli está entre 7 y 12 Mg ha⁻¹, aunque el potencial de producción supera los 20 Mg ha⁻¹, con 80 000 plantas ha⁻¹ con un promedio de 250 g por cabeza y diámetros entre 8 y 20 cm (primera calidad) (Lazcano *et al.*, 1997). Estos rendimientos son bajos en relación con los promedios de EE.UU. y Japón, de 30 Mg ha⁻¹ (Pihan, 1996; Soto, 1991). Los agricultores altamente tecnificados en El Bajío tienen altos rendimientos, pero no se han documentado.

La fertilización potásica recomendada para el brócoli en Guanajuato es 100 kg K₂O ha⁻¹ (Venegas, 1996). Sin embargo, existe poca información experimental sobre las necesidades potásicas de este cultivo bajo sus diferentes técnicas de manejo, especialmente cuando se cultiva con fertirrigación.

El objetivo del presente estudio fue conocer la respuesta del brócoli, a la fertilización potásica usando un Vertisol de Guanajuato en dos sistemas de cultivo: a) agricultura convencional aplicando K, al trasplante y 30 d después; b) con fertirrigación dosificando el K diariamente en el agua de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en Montecillo, Estado de México, en invernadero y en macetas con una planta por maceta, con 9 kg de suelo Vertisol de Guanajuato, tamizado en malla de 1 cm. El suelo presenta 53% de arcilla, es pobre en MO y N (0.07% N total), contenido moderado de P (12 mg kg⁻¹, P Olsen), rico en K asimilable (2.1 cmol_c⁺ kg⁻¹) y pH 8.7.

the country (Claridades Agropecuarias, 1999). The soils in which it is planted belong mostly to the order Vertisol, which covers 12 800 km², that is, 40.9% of the total area of the State of Guanajuato (INEGI, 2002).

Vertisols are characterized by their clay texture and those of Guanajuato are considered good suppliers of K for the requirements of cereals (Dudal, 1965). However, because vegetables have a high demand for this nutrient, potassium fertilization is a regular practice in broccoli for a mean yield of 11.6 Mg ha⁻¹ under conventional management (Bancomext, 2001) and 24 Mg ha⁻¹ under drip fertigation (Castellanos, 1998).

Broccoli yields in El Bajío under conventional management are a little over 12 Mg ha⁻¹. However, this production depends on the soil-climatic conditions and the use of fertilizers. The average commercial yield of broccoli cultivars is between 7 and 12 Mg ha⁻¹, although production could potentially surpass 20 Mg ha⁻¹, with 80 000 plants ha⁻¹ with an average of 250 g per head and diameters between 8 and 20 cm (prime grade) (Lazcano *et al.*, 1997). These yields are low compared with averages in the US and Japan of 30 Mg ha⁻¹ (Pihan, 1996; Soto, 1991). Growers with advanced technology obtain high yields in El Bajío, but this has not been documented.

Recommended potassium fertilization for broccoli in Guanajuato is 100 kg K₂O ha⁻¹ (Venegas, 1996). However, there is little experimental information on the crop's needs for potassium under different management techniques, especially when cultivated under fertigation.

This study was conducted to observe the response of broccoli to potassium fertilization in a Vertisol from Guanajuato under two cropping systems: a) conventional farming applying K at transplant and 30 d later; b) fertigation with daily dosages of K in the irrigation water.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in Montecillo, State of México. In a greenhouse, one plant was planted in each pot filled with 9 kg of Vertisol soil from Guanajuato. The soil was screened with a 1 cm mesh. The soil was 53% clay, poor in organic matter and N (0.07% total N), moderate P content (12 mg Kg⁻¹, P Olsen), rich in assimilable K (2.1 cmol_c⁺ kg⁻¹) and with pH 8.7.

Two management systems were tested: a) conventional (fertilizer incorporated into soil, 50% at transplant and the rest 30 d later), with irrigation applied as permanent wilting point was near and in a volume up to soil saturation; b) daily fertigation with N and K taking the soil up to field capacity. With each crop management system four dosages of fertilizer were applied (K₀=0, K₁=70, K₂=140, K₃=210 mg K kg⁻¹ soil; on the basis of 9 kg soil per plant and 66 000 plants h⁻¹, this is equivalent to 0, 50, 100 and 150 kg K₂O ha⁻¹). A basic uniform fertilizer was also applied: 673.4 mg N kg⁻¹, 168 mg P₂O₅ kg⁻¹ and 202 mg S kg⁻¹ soil to each pot, equivalent to 400, 100 and 120 kg N,

Hubo dos manejos: a) convencional (fertilización edáfica incorporada), 50% al trasplante y el resto 30 d después, con riegos aplicados al acercarse el punto de marchitamiento permanente, y en un volumen para llevar el suelo a saturación; b) fertirrigación diaria con N y K llevando el suelo a capacidad de campo. Con cada manejo de cultivo hubo cuatro dosis de fertilización ($K_0=0$, $K_1=70$, $K_2=140$, $K_3=210$ mg K kg^{-1} suelo, que sobre la base de 9 kg suelo por planta y 66 000 plantas ha^{-1} , equivalen a 0, 50, 100 y 150 kg K_2O ha^{-1}). Se aplicó además una fertilización basal uniforme de 673.4 mg N kg^{-1} , 168 mg P_2O_5 kg^{-1} y 202 mg S kg^{-1} suelo a cada maceta, equivalentes a 400, 100 y 120 kg N, P_2O_5 y S ha^{-1} , respectivamente. Los fertilizantes utilizados fueron fosfonitro (31-04-00), sulfato de amonio (21-0-0-24S), superfosfato de calcio triple (0-46-0) y nitrato de potasio (13-0-44).

Se colocó una planta de brócoli cv. Heritage por maceta. Se instalaron 12 repeticiones de cada uno de los ocho tratamientos resultantes de los dos manejos de cultivo y cuatro dosis de potasio. Durante el ensayo se registró la temperatura y la humedad relativa ambiental del invernadero. Durante los primeros 80 d después del trasplante (ddt), las plantas se mantuvieron en un invernadero con 50% de sombreado y alta humedad relativa, lo que retrasó su floración. A los 80 d fueron trasladadas a un invernadero más iluminado y menos húmedo, lo que favoreció la floración. La cosecha se realizó a los 126 y 130 ddt. Se midió rendimiento de producto comercial (pellas), peso seco de pella y follaje, contenido de K en tejido vegetal analizando muestras representativas de pella y follaje de cada planta, y la dinámica del K en el suelo a través de mediciones del K hidrosoluble, K intercambiable y K no intercambiable en el suelo durante el ciclo del cultivo.

Para los análisis se usaron los procedimientos del laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados; en la planta se evaluó el contenido de K por el método rápido en agua (Etchevers, 1997). La dinámica de K se analizó en suelo húmedo y seco al aire: - K hidrosoluble (Ks).- $CaCl_2$ 0.01M (Matejovic y Durkova, 1994). - K intercambiable (Ki).- Acetato de amonio 1N a pH 7 (Pratt *et al.*, 1982; Etchevers, 1997). - K no intercambiable (Kni).- HNO_3 1N (Mc Lean y Watson, 1985; Pratt *et al.*, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia en el uso del agua

El consumo de agua por el brócoli en todo el ciclo fue 68 L por planta en el manejo convencional y 56 L por planta con fertirrigación diaria, lo que equivale a láminas de 45 y 37 cm; esto representa un ahorro de 17% de agua, con fertirrigación diaria. Estos resultados están dentro del intervalo recomendado por Bolaños *et al.* (2000), que señalan una lámina de riego promedio de 40 cm para el brócoli con manejo convencional en el Estado de Guanajuato. Dado que el experimento se desarrolló en macetas, este ahorro está subestimado, porque no ocurrieron pérdidas por percolación profunda como ocurre en campo.

P_2O_5 , and S ha^{-1} , respectively. The fertilizers used were phosphonium (31-04-00), ammonium sulfate (21-0-0-24S) triple calcium phosphate (0-46-0) and potassium nitrate (13-0-44).

One cv Heritage broccoli plant was placed in each pot. Twelve replications of each of the eight treatments were set up, resulting from two crop management systems and four dosages of potassium. During the test, temperature and relative humidity in the greenhouse were recorded. During the first 80 d after transplant (dat), the plants were kept in a greenhouse with 50% shade and high relative humidity, which delayed flowering. At 80 d they were moved to another greenhouse with more light and less humidity, which favored flowering. The broccoli was harvested at 126 and 130 dat. Data were taken on yield of commercial product (head), dry weight of head and foliage, K content in representative samples of tissue from head and foliage of each plant and K dynamics in the soil by measurements of water-soluble K, exchangeable K and non-exchangeable K in the soil during the crop cycle.

For the analyses, procedures of the Soil Fertility Laboratory of the Colegio de Postgraduados were used. Content of K in the plant was assessed using the rapid method in water (Etchevers, 1997). Dynamics of K was analyzed in moist and air-dried soil:

- water-soluble K (Ks).- $CaCl_2$ 0.01M (Matejovic and Durkova, 1994).
- exchangeable K (Ki).- Ammonium acetate 1 N at pH7 (Pratt *et al.*, 1982; Etchevers, 1997).
- Non-exchangeable K (Kni).- HNO_3 1 N (McLean and Watson, 1985; Pratt *et al.*, 1982).

RESULTS AND DISCUSSION

Water use efficiency

Consumption of water by the broccoli during the entire cycle was 68 L per plant under conventional management and 56 L per plant with daily fertigation, equivalent to laminae of 45 and 37 cm. This represents a 17% savings in water with daily fertigation. These results are within the interval recommended by Bolaños *et al.* (2000), who report an average irrigation lamina of 40 cm for broccoli with conventional management in the State of Guanajuato. Given that the experiment was conducted in pots, this savings is underestimated since there were no losses from deep percolation as occurs in the field.

The accumulation of water applied during the crop cycle is shown in Figure 1. Fertigation was applied daily except between 26 and 29 dat when irrigation was suspended for control of black fungus-gnats (*Bradysia* sp). For conventional management, irrigation was applied at initial intervals of 12 d, later 7 d and finally 3 d, as the crop demanded, which was recorded with a gravimeter.

Fertigation has been demonstrated to have a positive effect on yield and savings of water in the production of broccoli compared with conventional management. Up to 100% higher incomes and 65% in water savings have been reported (Vuelas and Díaz de León, 1998).

En la Figura 1 se presenta la acumulación de agua aplicada durante el ciclo del cultivo. El fertirriego se aplicó diariamente, excepto entre los 26 y 29 ddt cuando se suspendió el riego para control de mosca negra *Fungus gnats* (*Bradysia* sp). Para el manejo convencional los riegos fueron a intervalos iniciales de 12, luego 7, y al final 3 d, conforme a la demanda del cultivo, registrada gravimétricamente.

El fertirriego ha demostrado un efecto positivo sobre el rendimiento y ahorro de agua en la producción de brócoli, en comparación con el manejo convencional. Se han obtenido ingresos en el rendimiento hasta 100% superiores y ahorros mayores a 65% en el agua (Vuelvas y Díaz de León, 1998).

Comportamiento de la planta

Rendimiento comercial

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos promedio, en fresco, de la inflorescencia (pella) para el tipo de manejo y nivel de K, y en el Cuadro 2 se muestra la comparación de medias de los tratamientos. El sistema con fertirriego produjo un rendimiento medio de brócoli 33% superior al de manejo convencional (435 vs 326 g planta⁻¹). La aplicación de K incrementó el rendimiento de brócoli hasta la dosis K₂, mientras que la dosis K₃ produjo un rendimiento tan bajo como el testigo sin potasio.

No hubo un efecto significativo ($p>0.05$) de la fertilización potásica bajo fertirrigación, pero con riego convencional la aplicación de K₂ elevó significativamente el rendimiento respecto al testigo. La producción obtenida es superior a la media del cultivo (Beberly *et al.*, 1986) y más elevada que la obtenida por Magnifico *et al.* (1979), donde se incluyen también las inflorescencias secundarias. Lo anterior muestra que con fertirrigación la planta estuvo en mejor condición para absorber el K del suelo y para producir un rendimiento mayor, que con manejo convencional. Al regar hasta el punto de saturación en manejo convencional, la falta de oxígeno reduce la capacidad radical para absorber K fertilizante; de igual forma, al incrementarse la tensión de humedad del suelo hasta cerca del PMP se reduce el flujo de la transpiración y la absorción nutrimental. En cambio con fertirriego diario no ocurrieron variaciones tan amplias en la humedad del suelo.

Rendimiento en peso fresco de la biomasa aérea

En el Cuadro 1 se reportan los valores promedio del peso fresco de la biomasa aérea para los tratamientos a la cosecha. Con fertirriego, el peso de la planta fue 36.2% mayor que en manejo convencional (1820 vs 1337 g planta⁻¹). Aunque el fertirriego es el manejo con mayor peso

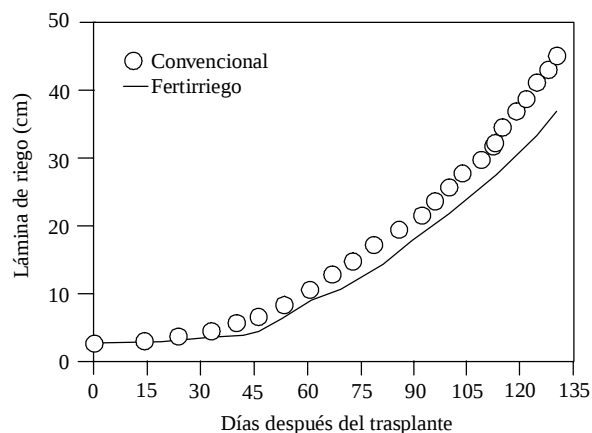


Figura 1. Acumulación de agua aplicada durante el ciclo de cultivo en los dos tipos de manejo.

Figure 1. Accumulation of water applied during crop cycle under two types of management.

Plant performance

Commercial yield

The average fresh yield of the inflorescence (head) for the type of management system and K fertilization is shown in Table 1, while the comparison of means of the treatments is presented in Table 2. The fertigation system produced a mean yield of broccoli 33% higher than conventional management (435 vs 326 g plant⁻¹). Application of K increased yield up to dosage K₂, whereas K₃ dosage produced a yield as low as the control without potassium.

There was no significant effect ($p>0.05$) of potassium fertilization under fertigation, but with conventional irrigation, application of K₂ significantly increased yield, relative to the control. The production obtained is higher than the mean for the crop (Beberly *et al.*, 1986) and higher than that obtained by Magnifico *et al.* (1979), who also included secondary inflorescences. This shows that with fertigation the plant was in better conditions to absorb soil K and to produce a higher yield than with conventional management. When irrigating to saturation point under conventional management, the lack of oxygen reduces the ability of the root system to absorb K fertilizer. Likewise, when water tension of the soil increases up to close to PWP, the flow of transpiration and nutrient absorption is reduced. In contrast, with daily fertigation such broad variations in soil moisture did not occur.

Fresh yield of aerial biomass

The average values of fresh weight of the aerial biomass for the treatments up to harvest are shown in Table 1. With fertigation, plant weight was 36.2% higher

Cuadro 1. Efecto del nivel de fertilización potásica y del sistema de manejo sobre el rendimiento en peso fresco de pella y biomasa aérea y peso seco de biomasa aérea, pella y follaje.**Table 1. Effect of the level of potassium fertilization and management system on weight of fresh yield of head and aerial biomass and dry weight of aerial, head and foliage biomass.**

Factor	PPF [†]	PFBA [‡]	PSBA [§]	PSP [¶]	PSF [‡]
	g planta ⁻¹				
K aplicado (K) (mg K kg ⁻¹ suelo):					
0 (K ₀)	369 b	1543 a	207.0 a	51.01 a	155.9 a
70 (K ₁)	363 b	1492 a	223.7 a	47.41 a	176.3 a
140 (K ₂)	425 a	1643 a	211.7 a	54.44 a	157.2 a
210 (K ₃)	365 b	1638 a	227.7 a	48.21 a	179.5 a
Manejo (M):					
Convencional	326 b	1337 b	180.9 b	40.00 b	140.9 b
Fertirriego	435 a	1820 a	254.2 a	60.54 a	193.7 a
K * M	*	ns	*	ns	ns

[†] PPF: peso fresco pella; [‡] PFBA: peso fresco biomasa aérea; [§] PSBA: peso seco biomasa aérea; [¶] PSP: peso seco pella; [‡] PSF: peso seco follaje. Medias con letras diferentes en cada columna y factor, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). ns: no significativo; *: significativo ($p \leq 0.05$).

fresco de la biomasa, no presentó diferencia significativa entre niveles de K.

Absorción de potasio por la planta de brócoli

Para calcular las cantidades de K absorbido por la planta de brócoli es necesario conocer el peso de la materia seca (MS) y su concentración en el tejido vegetal. Estos valores y su variación entre tratamientos se presentan a continuación.

Materia seca

En el Cuadro 1 se muestra el promedio del peso seco de la parte aérea. La biomasa seca con fertirriego fue 40.5% mayor que con manejo convencional; sin embargo, no hubo diferencias significativas entre dosis de K (Cuadro 3).

El peso seco de la pella (Cuadro 1) fue 51.4% mayor con fertirriego que con manejo convencional, pero no hubo diferencias ($p > 0.05$) entre las dosis de K aplicadas. El peso seco del follaje con fertirriego fue 37.5% mayor que con manejo convencional, pero no hubo efecto significativo del nivel de K.

El peso de la biomasa seca durante el ciclo de cultivo (Figura 2) con fertirriego, fue 254 g planta⁻¹, contribuyendo la pella con 23.8% y el follaje más tallo con 76.2%. Con manejo convencional, el peso seco de la biomasa aérea a la cosecha fue 181 g planta⁻¹, donde la pella aportó 22.1%, y el follaje más tallo 77.9%. La MS total fue

Cuadro 2. Efecto de la interacción entre el nivel de fertilización potásica y el sistema de manejo, sobre el peso fresco de la pella de brócoli.**Table 2. Effect of interaction between level of potassium fertilization and management system on broccoli head fresh weight.**

Manejo	Peso fresco de pella (g planta ⁻¹) Potasio aplicado (mg K kg ⁻¹ suelo)			
	0 (K ₀)	70 (K ₁)	140 (K ₂)	210 (K ₃)
Convencional	281 b	316 b	368 b	339 a
Fertirriego	457 a	410 a	481 a	391 a
Sistema de manejo				
Potasio aplicado (mg K kg ⁻¹ suelo)	Convencional	Fertirriego		
0 (K ₀)	281 b	457 ab		
70 (K ₁)	316 ab	410 ab		
140 (K ₂)	368 a	481 a		
210 (K ₃)	339 ab	391 b		

Medias con diferente letra en cada columna y factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

than with conventional management (1820 vs 1337 g plant⁻¹), although fertigation is the management system that resulted in higher fresh weight of biomass, there were no significant differences in K levels.

Potassium absorption by broccoli plant

To calculate the quantities of K absorbed by the broccoli plant, it is necessary to determine dry matter (DM) and K concentration in the plant material. These values and their variation among treatments are presented below.

Dry matter

The average dry weight of the aerial part is shown in Table 1. Dry biomass with fertigation was 40.5% higher than with conventional management. However, there were no significant differences among the dosages of K (Table 3).

Dry weight of the head (Table 1) was 51.4% higher with fertigation than with conventional management, but there were no differences ($p > 0.05$) among the dosages of K applied. The dry weight of foliage with fertigation was 37.5% higher than with conventional management, but there was no significant effect of the level of K.

Biomass dry weight during the crop cycle (Figure 2) with fertigation was 254 g plant⁻¹, of this the head constituted 23.8% and foliage plus stem 76.2%. With conventional management, dry weight of the aerial biomass at harvest was 181 g plant⁻¹, of this the head

Cuadro 3. Efecto de la interacción entre el nivel de fertilización potásica y el sistema de manejo, sobre el peso seco de la biomasa aérea de brócoli.**Table 3. Effect of interaction between level of potassium fertilization and management system on dry weight of broccoli aerial biomass.**

Manejo	Peso fresco de pella (g planta ⁻¹) Potasio aplicado (mg K kg ⁻¹ suelo)			
	0 (K ₀)	70 (K ₁)	140 (K ₂)	210 (K ₃)
Convencional	162.5 b	169.6 b	196.1 a	195.2 a
Fertirriego	251.4 a	277.9 a	227.2 a	260.3 a

Potasio aplicado (mg K kg ⁻¹ suelo)	Sistema de manejo	
	Convencional	Fertirriego
0 (K ₀)	162.5 a	151.4 a
70 (K ₁)	169.6 a	277.9 a
140 (K ₂)	196.1 a	227.2 a
210 (K ₃)	195.2 a	260.3 a

Medias con la misma letra dentro de cada columna y factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

similar a la obtenida por Magnifico *et al.* (1979), Shelp y Liu (1992) y Zebarth *et al.* (1995), y superó la reportada por Kowalenko y Hall (1987). La MS en los dos tipos de manejo tuvo un crecimiento exponencial durante el ciclo de cultivo, similar al reportado por Magnifico *et al.* (1979) y por Liu y Shelp (1993). Sin embargo, Rincón *et al.* (1999) y Beberly *et al.* (1986) describieron un crecimiento sigmoidal; estos últimos atribuyeron la variabilidad de la producción total de biomasa a aspectos varietales. La diferencia entre los resultados presentados por Rincón *et al.* (1999) y los del presente estudio se debe al alargamiento del ciclo, por efecto de las condiciones ambientales iniciales dentro del invernadero; pero cuando las plantas fueron cambiadas de invernadero 80 ddt, las altas temperaturas, baja humedad relativa y la alta luminosidad provocaron un incremento en la tasa de acumulación de MS.

Concentración de potasio

Al trasplante, la plántula de brócoli tuvo una concentración de 0.66% K, equivalente a 6600 mg K kg⁻¹ MS. Las concentraciones de K en la pella (mg kg⁻¹), y las concentraciones de K en el follaje, al momento de la cosecha, no fueron diferentes ($p > 0.05$) entre niveles de K (Cuadro 4).

Dinámica del potasio en el suelo

Se midió el contenido de K en los reservorios denominados: potasio hidrosoluble (Ks), intercambiable (Ki)

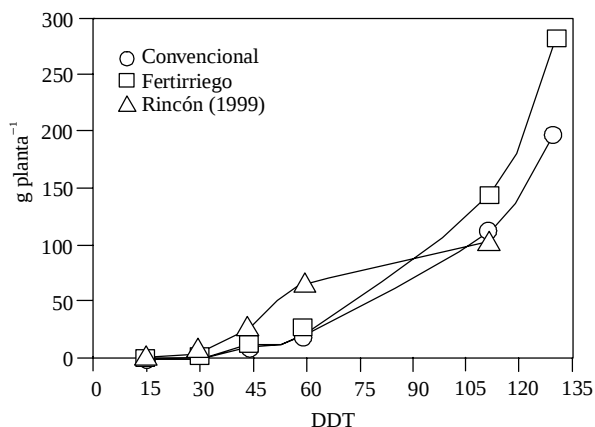


Figura 2. Promedio del peso seco de brócoli durante el ciclo de cultivo con dos manejos, comparados con datos de Rincón (1999).

Figure 2. Average dry weight of broccoli during crop cycle under two management systems, compared with data from Rincon (1999).

contributed 22.1% and the foliage plus stem 77.9%. Total DM was similar to that obtained by Magnifico *et al.* (1979), Shelp and Liu (1992) and Zebarth *et al.* (1995), and surpassed that reported by Kowalenko and Hall (1987). Dry matter in the two types of management had exponential growth during the crop cycle, similar to that reported by Magnifico *et al.* (1979) and by Liu and Shelp (1993). However, Rincón *et al.* (1999) and Beberly *et al.* (1986) described a sigmoid growth; these latter authors attributed the variability in total production of biomass to aspects of the varieties. The difference between the results presented by Rincón *et al.* (1999) and those of our study are due to the lengthening of the cycle because of the effects of initial environmental conditions in the greenhouse. However, when the plants were moved to another greenhouse 80 dat, the high temperatures, low relative humidity and high luminosity provoked an increase in the rate of DM accumulation.

Potassium concentration

At transplant, the broccoli seedling had a concentration of 0.66% K, equivalent to 6600 mg K kg⁻¹ DM. The K concentrations in the head (mg kg⁻¹) and the K concentrations in the foliage at harvest, showed no differences ($p > 0.05$) among levels of K (Table 4).

Potassium dynamics in the soil

The K content was measured in the reservoirs denominated: water-soluble (Ks), exchangeable (Ki) and non-exchangeable (Kni) potassium in conventional management and fertigation at four levels (K₀, K₁, K₂,

y no intercambiable (K_{ni}) en el manejo convencional y el fertirriego, en los cuatro niveles (K₀, K₁, K₂ y K₃). En el Cuadro 4 se muestran los contenidos de K hidrosoluble, intercambiable y no intercambiable en el suelo. En ese orden, los reservorios de K, al inicio del ciclo de cultivo fueron 0.36, 1.86 y 3.42 cmol_c⁺ kg⁻¹, que aproximadamente equivale a 141, 727 y 1337 mg K kg⁻¹ suelo en cada caso. Lo anterior significa que las reservas de las formas de K, al inicio del cultivo, eran 6.4% K_s, 33% K_i y 60.6% K_{ni}.

Potasio hidrosoluble

Esta forma se considera la fuente primaria de K asimilado por las raíces de las plantas. En las Figuras 3 y 4 se presenta el contenido del reservorio K_s en los cinco muestreos realizados durante el ciclo de cultivo. El reservorio K_s al inicio del cultivo fue 141 mg K kg⁻¹ suelo, al final del estudio fue 85 mg K kg⁻¹ suelo en manejo convencional y 77 mg K kg⁻¹ suelo en fertirriego; es decir este reservorio disminuyó 40 y 45%, respectivamente. Esto significa que el K_s ofreció condiciones propicias para la absorción de potasio por las plantas (Havlin *et al.*, 1999).

En los Cuadros 4 y 5 se presentan los valores promedio del reservorio K_s a la cosecha. Hubo diferencias significativas entre dosis de K, bajo fertirriego, pero no con riego convencional ni entre manejos del cultivo. Aguado *et al.* (2002) reportaron 78 mg K_s kg⁻¹ en un Vertisol del valle de México, lo que representa valores muy similares a los obtenidos al final del estudio, y 45% inferior al valor inicial.

Potasio intercambiable

La cantidad de K_i varió de 476 a 612 mg K kg⁻¹ suelo (Cuadro 4); 150 mg K kg⁻¹ suelo se considera un

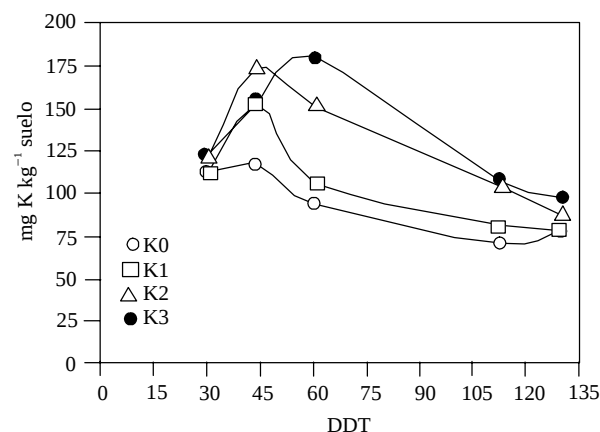


Figura 3. Potasio hidrosoluble del suelo (K_s) durante el ciclo de cultivo en el manejo convencional.

Figure 3. Water-soluble potassium in soil (K_s) during crop cycle under conventional management.

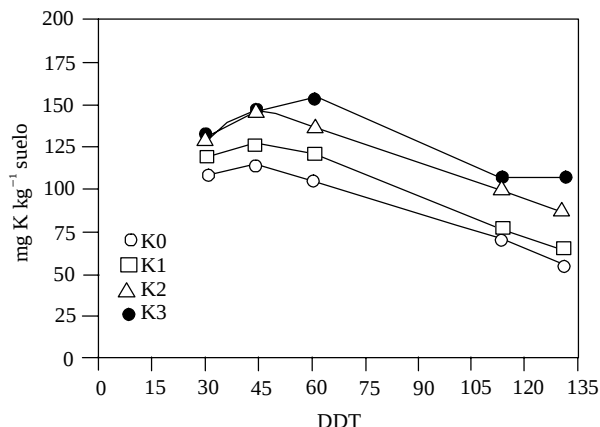


Figura 4. Potasio hidrosoluble del suelo (K_s) durante el ciclo de cultivo en el fertirriego.

Figure 4. Water-soluble potassium in soil (K_s) during crop cycle under fertigation.

K₃). The water-soluble, exchangeable and non-exchangeable K contents in the soil are shown in Table 4. In that order, the reservoir of K at initial crop cycle were 0.36, 1.86, and 3.42 cmol_c⁺ kg⁻¹, which is approximately equivalent to 141, 727 and 1337 mg K kg⁻¹ soil in each case. The above means that the reserves of the forms of K at initial crop cycle were 6.4% K_s, 33% K_i and 60.6% K_{ni}.

Cuadro 4. Efecto de los factores nivel de fertilización potásica y sistema de manejo, sobre la concentración de potasio en la pella y en el follaje de brócoli, y sobre el contenido de las distintas formas de potasio en el suelo a la cosecha.

Table 4. Effect of the factors level of potassium fertilization and management system on concentration of potassium in head and foliage of broccoli and on content of different forms of potassium in the soil at harvest.

	CKP	CKF	Ks	Ki	Kni
Factor	(mg K kg ⁻¹ MS)				
K aplicado (K)					
(mg K kg ⁻¹ suelo)					
0 (K ₀)	10175 a	7655 a	66 c	476 b	1386 a
70 (K ₁)	11788 a	6287 a	70 bc	519 ab	1395 a
140 (K ₂)	11838 a	8390 a	87 ab	608 a	1408 a
210 (K ₃)	12325 a	9180 a	102 a	612 a	1465 a
Manejo (M)					
Convencional	10786 a	6496 b	85 a	566 a	1413 a
Fertirriego	12276 a	9260 a	77 a	542 a	1414 a
K * M	ns	ns	*	ns	ns

CKP; CKF: concentración de potasio en pella y follaje; K_s, K_i, K_{ni}: contenido de potasio hidrosoluble, intercambiable y no intercambiable en el suelo. Medias con letras diferentes en cada columna y factor, son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05): sn: no significativo; *: significativo (Tukey p≤0.05).

valor alto para garantizar suficiente abasto al cultivo. El equilibrio del K_i y el K_s normalmente se da en 1 h en la mayoría de los suelos, en unos cuantos el equilibrio es casi instantáneo, mientras que en otros requiere 24 h (Spark *et al.*, 1980).

El reservorio de K_i al inicio del estudio fue 727 mg $K\ kg^{-1}$ suelo. En las Figuras 5 y 6 se puede apreciar la tendencia decreciente en el reservorio K_i durante el ciclo de cultivo, en ambos manejos y para los cuatro niveles de potasio. Según Aguado *et al.* (2002), K_i fue 323 mg $K\ kg^{-1}$ para un Vertisol del valle de México.

En el Cuadro 4 se muestran los valores promedio de K_i al momento de la cosecha. En el tratamiento con fertirriego K_i fue 25.5% menor al nivel inicial, y 22.2% con el manejo convencional. No hubo diferencia significativa entre manejos del cultivo pero sí entre dosis de K ; el tratamiento K_0 tenía sólo 78% del K presente en el K_3 . Pero el cultivo de brócoli abatió 2.3 veces más el porcentaje de K_s que el de K_i del suelo. Sin embargo, dado que las reservas iniciales de K_i en el suelo son 5.1 veces mayores que las de K_s , la absorción absoluta de K_i por la planta fue 2.24 veces mayor que la de K_s . Aguado *et al.* (2002) encontraron un contenido de K_i de 1011, 1396 y 413 mg $K\ kg^{-1}$ en un Entisol, un Mollisol y un Vertisol.

Potasio no intercambiable

El reservorio de K_{ni} al inicio del estudio fue 1337 mg $K\ kg^{-1}$, y en las Figuras 7 y 8 se presenta el contenido de K en el reservorio K_{ni} durante el ciclo de cultivo. A diferencia del K_s y K_i , la concentración de K_{ni} no se redujo y hubo un ligero incremento entre 45 y 60 ddt. En el Cuadro 4 se muestran las concentraciones de K_{ni} en los tratamientos a la cosecha. No se observaron diferencias entre manejos ni entre dosis y la media general fue 5.7%

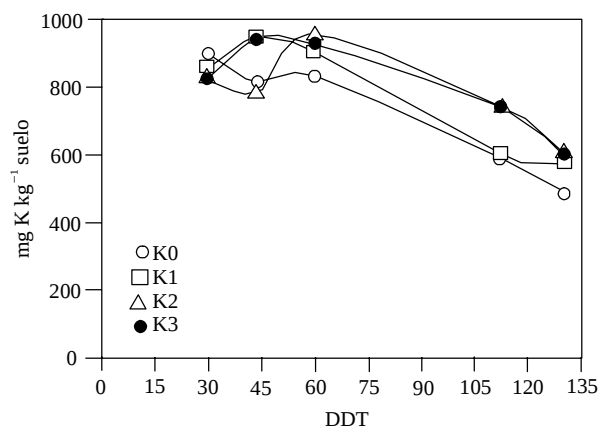


Figura 5. Potasio intercambiable del suelo durante el ciclo de cultivo en el manejo convencional.

Figure 5. Exchangeable potassium in soil during crop cycle under conventional management.

Cuadro 5. Efecto de la interacción entre el nivel de fertilización potásica y el sistema de manejo, sobre el contenido de potasio hidrosoluble en el suelo a la cosecha.

Table 5. Effect of interaction between level of potassium fertilization and management system on water-soluble potassium content of soil at harvest.

Manejo	Contenido de K hidrosoluble (mg K kg ⁻¹ suelo)			
	Potasio aplicado (mg K kg ⁻¹ suelo)			
	0 (K ₀)	70 (K ₁)	140 (K ₂)	210 (K ₃)
Convencional	78 a	78 a	88 a	97 a
Fertirriego	54 a	62 a	85 a	106 a

Potasio aplicado (mg K kg ⁻¹ suelo)	Sistema de manejo	
	Convencional	Fertirriego
0 (K ₀)	78 a	54 c
70 (K ₁)	78 a	62 bc
140 (K ₂)	88 a	85 ab
210 (K ₃)	97 a	106 a

Medias con diferente letra en cada columna y factor son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Water-soluble potassium

This form is considered the primary source of assimilable K by the plant's roots. The content of the K_s reservoir in the five samples taken during the crop cycle are shown in Figures 3 and 4. The K_s reservoir at the beginning of the cycle was 141 mg $K\ kg^{-1}$ soil, at the end of the study it was 85 mg $K\ kg^{-1}$ soil in conventional management and 77 mg $K\ kg^{-1}$ soil in fertigation; that is, this reservoir decreased 40 and 45%, respectively. This means that K_s offered favorable conditions for the absorption of potassium by the plants (Havlin *et al.*, 1999).

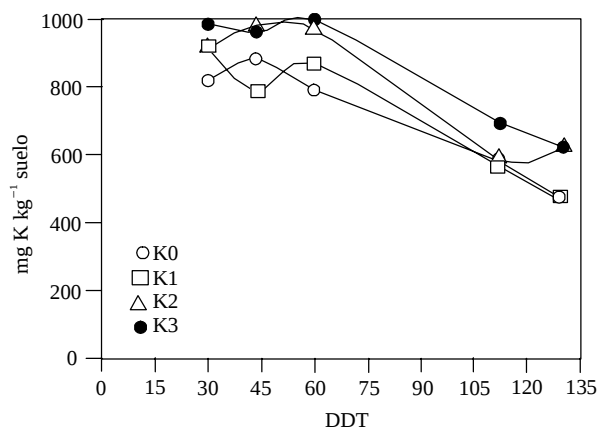


Figura 6. Potasio intercambiable del suelo durante el ciclo de cultivo en el fertirriego.

Figure 6. Exchangeable potassium in soil during crop cycle under fertigation.

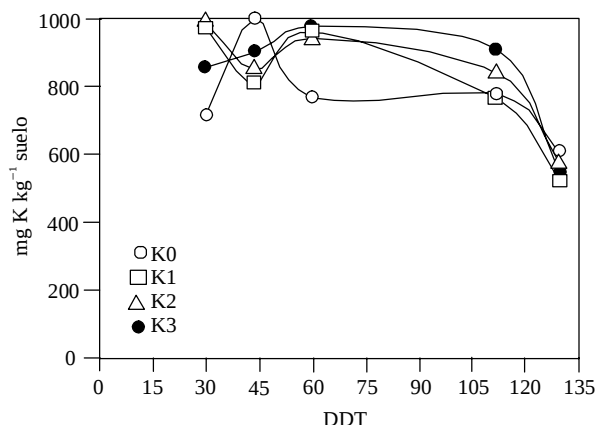


Figura 7. Potasio no intercambiable del suelo durante el ciclo de cultivo en el manejo convencional.

Figure 7. Non-exchangeable potassium in soil during crop cycle under conventional management.

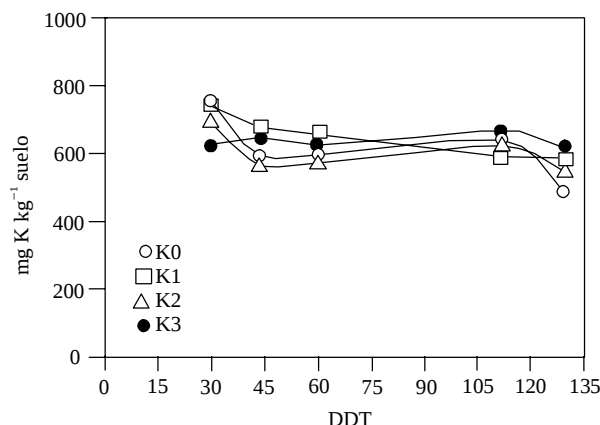


Figura 8. Potasio no intercambiable del suelo durante el ciclo de cultivo en el fertirriego.

Figure 8. Non-exchangeable potassium in soil during crop cycle under fertigation.

superior al valor observado al inicio del estudio; esto indica que la fertilización potásica sirvió básicamente para abastecer la demanda de la planta y frenar el descenso del K_s y K_i en el suelo, sin alteración en las reservas de K_{ni} . Según Aguado *et al.* (2002), el reservorio de K_{ni} en un Vertisol fue 672 mg K kg^{-1} valor menor al del presente trabajo. Las implicaciones del uso racional de fertilizantes potásicos se relacionan más con el aseguramiento a largo plazo de la fertilidad de los suelos, al no reducir el reservorio natural de potasio.

Sin importar la dosis de aplicación, toma varios años observar los beneficios del potasio aplicado. En casi todos los suelos, la mayoría del potasio aplicado continúa disponible para la absorción futura por la planta por varios años (Roberts, 2001).

CONCLUSIONES

A pesar de la riqueza en potasio en el Vertisol de Guanajuato, la aplicación de 140 mg K kg^{-1} elevó el rendimiento comercial de brócoli. Este incremento fue significativo sólo con manejo convencional, lo que sugiere que con fertirrigación hay una mayor disponibilidad del K nativo del suelo.

Los rendimientos medios de brócoli con fertirrigación fueron 33.5% superiores a los de manejo convencional. Debido al alto contenido de K disponible en el suelo y que fertirrigación favoreció la absorción de este nutrimento por las plantas, la dosis óptima de K con fertirrigación fue menor que con manejo convencional.

Las extracciones de K por el cultivo con fertirrigación fueron 83.8% superiores a las del cultivo con manejo convencional. Aun así, la eficiencia de uso del fertilizante potásico fue mayor con manejo convencional, debido

The average values for K_s reservoir at harvest are shown in Tables 4 and 5. There were significant differences between doses of K under fertigation, but not under conventional irrigation or crop management systems. Aguado *et al.* (2002) reported 78 mg Ks kg^{-1} in a Vertisol in the Valley of México, representing values very similar to those obtained at the end of our study, and 45% lower than the initial value.

Exchangeable potassium

The quantity of K_i varied from 476 to 612 mg K kg^{-1} soil (Table 4); 150 mg K kg^{-1} soil is considered a high value to guarantee a sufficient supply to the crop. The balance between K_i and K_s normally occurs in 1 h in most soils; in a few, balance is almost instantaneous, while in others it requires 24 h (Spark *et al.*, 1980).

The reservoir of K_i at the beginning of this study was 727 mg K kg^{-1} soil. In Figures 5 and 6, a decreasing trend in the K_i reservoir during the crop cycle can be observed in both management systems and for the four levels of potassium. According to Aguado *et al.* (2002), K_i was 323 mg K kg^{-1} for a Vertisol from the Valley of México.

The average values of K_i at harvest are shown in Table 4. In the treatment with fertigation K_i was 25.5% lower than the initial level and 22.2% lower with conventional management. There were no significant differences between crop management systems, but there were among dosages of K; treatment K_0 had only 78% of the K present in K_3 , but the broccoli crop reduced 2.3 times more the percentage of K_s than K_i in the soil. However, given that the initial reserves of K_i in the soil are 5.1 times higher than those of K_s , absolute absorption of K_i by the plant was 2.24 times greater than that of K_s .

al bajo rendimiento y baja extracción de K del tratamiento testigo sin fertilización potásica con este manejo.

El reservorio de Kni no cambió durante el desarrollo del cultivo, pero el Ks y el Ki se redujeron, y con mayor intensidad en el fertirriego. Al final del cultivo la dosis de 0 mg K kg⁻¹ contenía sólo 51% del Ks y 75% del Ki presente en la dosis de 210 mg kg⁻¹. Entonces, la fertilización potásica es necesaria para evitar que los cultivos subsecuentes lleguen a presentar una deficiencia de ese nutrimento.

LITERATURA CITADA

- Aguado L., G., J. D. Etchevers B., C. Hidalgo M., A. Galvis S., y A. Aguirre G. 2002. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia* 36 (1): 11-21.
- Bancomext, 2001. Base de datos: The World Trade Atlas. México. D. F.
- Beberly, B., R., M. Jarrell W., and J. Letey. 1986. A nitrogen and water response surface for sprinkler-irrigated broccoli. *Agron. J.* 78: 91-94.
- Bolaños, G., M., E. Palacios V., A. Exebio G., E. Mejía S., F. Mendivil A., y R. García P. 2000. Metodología para la estimación de volúmenes de agua usados en zonas de riego mediante imágenes de satélite. X Congreso Nacional de Irrigación. ANEI. Artículo: ANEI-S50007.
- Castellanos R., J. Z. 1998. El seguimiento de la nutrición del brócoli en los sistemas de fertirrigación. *Plantaciones modernas. AGROSEM año 3, 1*: 137-152.
- Claridades Agropecuarias. 1999. Acerca. México, D. F. Núm. 68. Mes de abril.
- Dudal, R. 1965. Dark clay soils of tropical and subtropical regions. *FAO Agric. Devel. Paper* 83, Rome, Italy. 170 p.
- Etchevers B., J. D. 1997. Análisis de suelo, planta y agua como herramienta de decisión para el manejo de los cultivos. In: *Memorias del Curso Nacional de Fertirrigación*. Galves R., J. B. (ed). Culiacán, Sinaloa. México. pp: 81-110.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to Nutrient Management*. 6 ed. Prentice Hall. 499 p.
- INEGI. 2002. Suelos de la Republica Mexicana. Estado de Guanajuato. [En línea] Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>. (Revisado 8 de enero de 2002).
- Kowalenko, C. G., and W. Hall J. 1987. Effects of nitrogen applications on direct-seeded broccoli from a single harvest adjusted for maturity. *Soil Sci. Amer. Soc. J.* 112 (1): 9-13.
- Lazcano F. I., M. McCully, y H. Chirinos V. 1997. Los beneficios del uso de K₂SO₄—2MgSO₄. In: *La fertilización balanceada de brócoli en el Bajío de México*. 3rd Fertilizer Latin America International Conference. Instituto de la Potasa y el Fósforo. A. C. (ed).
- Liu, L., and B. J. Shelp. 1993. Broccoli yield and nitrogen composition in response to different management regimes. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 61-84.
- Magnifico, V., V. Lattancio, and G. Sarli. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *J. America. Hort. Sci.* 104 (2): 201-203.
- Matejovic, I., and A. Durkova. 1994. Comparison of Mehlich 1, 2 & 3, calcium chloride, Bray, Olsen, Enger & Schachtschabel extractants for determinations of nutrients in two soils types. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* (25) 9-10: 1289-1302.
- Mc Lean, E. O., and M. E. Watson. 1985. Soil measurement of plant-available potassium. In: *Potassium in Agriculture*. R.D. Munsen (ed). ASSA ASA-CSSA-SSSA-Madison, WI. USA. pp: 278-309.
- Pihan S., R. 1996. Aspectos fisiológicos del crecimiento y desarrollo del brócoli. In: *Seminario en tecnologías para producir altos*

Aguado *et al.* (2002) found contents of Ki of 1011, 1396 and 413 mg kg⁻¹ in an Entisol, a Mollisol and a Vertisol.

Non-exchangeable potassium

The initial reservoir of Kni was 1337 mg kg⁻¹, and the K content in the Kni reservoir during the crop cycle is shown in Figures 7 and 8. Unlike those of Ks and Ki, the concentration of Kni did not decrease and there was a slight increase between 45 and 60 dat. The concentrations of Kni in the treatments at harvest are shown in Table 4. No differences were observed between management systems or between dosages, and the general mean was 5.7% higher than the value observed at the beginning of the study. This indicates that potassium fertilization served basically to supply the demand of the plant and to detain the decrease of Ks and Ki in the soil, without altering the reserves of Kni. According to Aguado *et al.* (2002), the reservoir of Kni in a Vertisol was 672 mg K kg⁻¹ soil, a lower value than that of this study. The implications of the rational use of potassium fertilizers are more related to assuring long-term fertility by not reducing the natural reservoir of potassium.

Regardless of the dosage applied, it takes several years to observe the benefits of the applied potassium. In almost all soils, most of the potassium applied continues to be available for future absorption by the plant for several years (Roberts, 2001).

CONCLUSIONS

In spite of the potassium-rich Vertisol from Guanajuato, application of 140 mg K kg⁻¹ elevated the commercial yield of broccoli. This increase was significant only with conventional management, suggesting that with fertigation there is greater availability of native K in the soil.

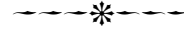
The mean yields of broccoli with fertigation were 33.5% higher than those with conventional management. Because of the high content of available K in the soil and that fertigation favored absorption of this plant nutrient, the optimal dosage of K with fertigation was lower than with conventional management.

Extractions of K by the crop with fertigation were 83.8% higher than those under conventional management. Even so, the efficiency of potassium fertilizer use was higher under conventional management because of the low yield and low extraction of K in the control treatment without potassium fertilizer under this management system.

The reservoir of Kni did not change during the development of the crop, but Ks and Ki decreased; with fertigation this occurred more intensely. At the end of the crop cycle the treatment with the dosage of 0 mg kg⁻¹

- rendimientos y buena calidad en brócoli y coliflor. SQM-Nitratos Chilenos, Irapuato, Guanajuato. pp: 1-21.
- Pratt, P. F., D. Knudsen, and G. Peterson A. 1982. Lithium, sodium and potassium. In: Methods of Soil Analysis. Page, A. L., R. H. Miller, and P. R. Keeney (eds) Part 2. Agronomy No. 9, ASA, SSSA. Madison WI. USA. pp: 225-247.
- Rincón, L., J. Saez, J. A. Pérez C., M. D. Gómez L., y C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. CIDA. Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg. Vol 14 (1.2). Murcia, Esp. pp: 45-59.
- Roberts, T. L. 2001. El uso del fertilizante todavía es rentable, incluso en la economía actual. Informaciones agronómicas. INPOFOS. Dic. Vol. 5 (1). 4 p.
- Shelp B. J., and L. Liu. 1992. Nutrient uptake by field grown broccoli and net nutrient mobilization during inflorescence development. Plant and Soil 140: 151-155.
- Soto J. A. 1991. Efecto de la fertilización nitrogenada y la población sobre rendimiento y calidad de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) durante dos ciclos en Cargo, Costa Rica. Agronomía Costarricense 15: 19-27.
- Spark, D. L., L. Zelanzny, and D. Martens, C. 1980. Kinetics of potassium exchange in Paleudult from the coastal plain of Virginia. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 37-40.
- contained only 51% of the Ks and 75% of the Ki present in the treatment that received the dosage of 210 mg kg⁻¹. Therefore, potassium fertilization is necessary to prevent deficiencies of this nutrient in subsequent crops.

—End of the English version—



- Venegas V., C. 1996. Fundamentos básicos de nutrición vegetal aplicados en producción de brócoli. In: Seminario en tecnologías para producir altos rendimientos y buena calidad de brócoli y coliflor. SQM-Nitratos Chilenos, Irapuato, Gto. Ed. Año 2000, S.A. 214 p.
- Vuelvas, C. M. A., y J. G. Díaz de León, T. 1998. Riego por goteo y fertirrigación del brócoli. Uso y manejo del agua. INIFAP, Celaya, Gto.
- Zebarth B. J., A. Bowen P., and A. Toivonen P. M. 1995. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer nitrogen recovery. Can. J. Plant Sci. 75: 717-725.