

# PACLOBUTRAZOL, UNICONAZOL Y CYCOCEL EN LA PRODUCCIÓN DE TUBÉRCULO-SEMILLA DE PAPA EN CULTIVO HIDROPÓNICO

Román Flores López<sup>1</sup>; Felipe Sánchez del Castillo<sup>2</sup>; Juan Enrique Rodríguez Pérez<sup>2</sup>;  
Rafael Mora Aguilar<sup>2</sup>; María Teresa Colinas León<sup>2</sup>;  
Héctor Lozoya Saldaña<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. km 4.5 carretera Toluca-Zitácuaro, Zinacantepec, Estado de México. C. P. 51350. MÉXICO.

<sup>2</sup>Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Correo-e: r.moraaguilar@gmail.com (<sup>1</sup> Autor para correspondencia)

## RESUMEN

El objetivo fue determinar el efecto y concentración de cycocel, uniconazol y paclobutrazol para generar plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) de porte bajo y área foliar reducida, sin disminuir su rendimiento de tubérculo. Los tratamientos fueron: paclobutrazol (50, 100, 150, 200 y 250 mg·L<sup>-1</sup>), uniconazol (2.5, 5, 10, 20 y 40 mg·L<sup>-1</sup>), cycocel (200, 400, 800, 1600 y 2400 mg·L<sup>-1</sup>) y un testigo sin reguladores, con 10 macetas como unidad experimental. Se empleó el diseño bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El uniconazol y el paclobutrazol fueron más efectivos para disminuir el crecimiento, área foliar e índice de área foliar, en comparación con el cycocel. El uniconazol, en concentraciones >5 mg·L<sup>-1</sup> redujo la altura de las plantas (23 y 46 %), la biomasa de los tubérculos y de la planta completa con respecto al testigo. El paclobutrazol a 100, 200 y 250 mg·L<sup>-1</sup>, redujo la altura de la planta (50 a 64 %), la biomasa de tubérculos (44 a 69 %) y la biomasa de la planta completa (45 y 67 %); a 150 mg·L<sup>-1</sup>, redujo la altura de planta (42 %) y no afectó la biomasa del tubérculo (47.0 g). Con 20 mg·L<sup>-1</sup> de uniconazol o 150 mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol, el índice de área foliar disminuyó en el testigo de 13.9 a 10.93 y 9.34, respectivamente, pero no afectó el número de tubérculos por planta, la biomasa de tubérculos ni el índice de cosecha.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** Minitubérculos, hidroponía, *Solanum tuberosum*, inhibidores del crecimiento.

## PACLOBUTRAZOL, UNICONAZOLE AND CYCOCEL IN POTATO SEED-TUBER PRODUCTION IN HYDROPONIC CULTURE

### ABSTRACT

Three growth inhibitors (cycocel, uniconazole and paclobutrazol) applied at different concentrations were assessed to determine their ability to produce compact potato (*Solanum tuberosum* L.) plants with reduced leaf area, but without reduced tuber yield, in an experiment conducted in hydroponic greenhouse conditions. The treatments were: paclobutrazol (50, 100, 150, 200 and 250 mg·L<sup>-1</sup>), uniconazole (2.5, 5, 10, 20 and 40 mg·L<sup>-1</sup>), cycocel (200, 400, 800, 1,600 and 2,400 mg·L<sup>-1</sup>) and a control without regulators, with 10 pots as the experimental unit. A randomized complete block design with 16 treatments and four replications was used. Uniconazole and paclobutrazol were more effective in reducing growth, leaf area and leaf area index compared with cycocel. Uniconazole at concentrations >5 mg·L<sup>-1</sup> reduced plant height (23 and 46 %), tuber biomass and total plant biomass compared with the control. Paclobutrazol applications at 100, 200 and 250 mg·L<sup>-1</sup> reduced plant height (50 to 64 %), tuber biomass (44 to 69 %) and total plant biomass (45 to 67 %); at 150 mg·L<sup>-1</sup>, it reduced plant height (42 %) without affecting tuber biomass (47.0 g). Uniconazole at 20 mg·L<sup>-1</sup> and paclobutrazol at 150 mg·L<sup>-1</sup> produced stunted potato plants and reduced their leaf area index from 13.9 in plants without inhibitors (the control) to 10.93 and 9.34, respectively, without affecting the number of tubers per plant, tuber biomass or harvest index.

**ADDITIONAL KEY WORDS:** Minitubers, hydroponics, *Solanum tuberosum*, growth inhibitors.

## INTRODUCCIÓN

La tuberización en papa (*Solanum tuberosum* L.) es un proceso complejo en el que intervienen factores bióticos y abióticos. Los reguladores de crecimiento endógenos desempeñan un papel preponderante en este proceso, entre los que destacan las giberelinas; la importancia de éstas se ha comprobado al determinar que la concentración interna de ácido giberélico (AG) es alta en la planta en condiciones no inductivas de la tuberización y decrece en condiciones inductivas, días cortos y bajas temperaturas nocturnas (Hannapel *et al.*, 2004).

La concentración endógena de AG<sub>1</sub> en estolones y hojas decrece durante la tuberización (Carrera *et al.*, 1999) y se inhibe con la aplicación de AG<sub>3</sub>, pero es favorecida por la aplicación exógena de inhibidores de la biosíntesis de AG<sub>3</sub> (Vreugdenhil y Sergeeva, 1999).

La aplicación de inhibidores del crecimiento en cultivos hortícolas se hace para reducir el crecimiento longitudinal del tallo, sin disminuir su productividad (Rademacher, 2000). Algunos inhibidores del crecimiento usados en papa son: tetcyclacis, cycocel, paclobutrazol, uniconazol, ancymidol y daminozida; algunos de éstos incrementan la formación de tubérculos *in vitro* en segmentos de tallo (Jing *et al.*, 2004), en plantas bajo invernadero (Rodríguez-Falcón *et al.*, 2006) y en campo, en condiciones de alta temperatura (Tekalign y Hammes, 2005).

El cycocel bloquea la vía de biosíntesis de giberelinas en etapas tempranas del desarrollo de las plantas, específicamente actúa sobre la conversión del pirofosfato de geranilgeranilo en pirofosfato de copalilo, mientras que el paclobutrazol y el uniconazol inhiben la oxidación de ent-kaureno y bloquean las reacciones de oxidación entre el kaureno y el ácido kaurenoico (Balamani y Poovaiah, 1985).

En papa el paclobutrazol disminuye la altura de la planta, la tasa de crecimiento del cultivo y la distribución de asimilados hacia hojas, tallos, raíces y estolones, y la incrementa en los tubérculos (Balamani y Poovaiah, 1985); o reduce la biomasa de la planta completa (Tekalign y Hammes, 2005) y el rendimiento de minitubérculos (Hughes y Keith, 2003). También induce cambios anatómicos que aumentan el grosor de las hojas y el diámetro del tallo y de las raíces; además incrementa la síntesis de almidón en las células de la médula del tallo y en las células corticales de tallos y raíces (Tsegaw *et al.*, 2005).

El cycocel ha sido empleado para inducir la tuberización de cultivos *in vitro*; aplicaciones de 500 mg·L<sup>-1</sup> mostraron la inhibición del crecimiento, así como la senescencia de las plántulas de papa (Jing *et al.*, 2004).

Plantas de papa asperjadas con 250 mg·L<sup>-1</sup> de cycocel, a los 30, 45 y 60 días después de la plantación, tuvieron mayor rendimiento de tubérculos sin afectar el tamaño de éstos, el contenido de azúcares y o el de almidón (Shoba *et al.*, 2004); siete aplicaciones, a intervalo de cinco días cada

## INTRODUCTION

Tuberization in potato (*Solanum tuberosum* L.) is a complex process involving abiotic and biotic factors. Endogenous growth regulators play a leading role in this process, most notably the gibberellins whose importance has been shown to lie in ensuring that the internal concentration of gibberellic acid (GA) is high in the plant under non-inductive tuberization conditions and lower in inductive conditions, specifically short days and low night temperatures (Hannapel *et al.*, 2004).

The endogenous concentration of GA<sub>1</sub> in stolons and leaves decreases during tuberization (Carrera *et al.*, 1999) and is inhibited by application of GA<sub>3</sub>, but is favored by the exogenous application of GA<sub>3</sub>-biosynthesis inhibitors (Vreugdenhil and Sergeeva, 1999).

Growth inhibitors are applied in horticultural crops to reduce unwanted longitudinal stem growth without reducing plant productivity (Rademacher, 2000). Growth inhibitors used in potato include tetcyclacis, cycocel, paclobutrazol, uniconazole, ancymidol and daminozide, some of which increase *in vitro* tuber formation in stem segments (Jing *et al.*, 2004), greenhouse plants (Rodríguez-Falcón *et al.*, 2006) and in the field under high temperature conditions (Tekalign and Hammes, 2005).

Cycocel blocks the gibberellin biosynthetic pathway in early stages of plant development; specifically, it acts on the conversion of geranylgeranyl pyrophosphate in copalyl pyrophosphate, whereas paclobutrazol and uniconazole inhibit the oxidation of ent-kaurene and block the oxidation reactions between kaurene and kaurenoic acid (Balamani and Poovaiah, 1985).

In potato, paclobutrazol reduces plant height, crop growth rate and the distribution of assimilates to leaves, stems, roots and stolons, and increases it in tubers (Balamani and Poovaiah, 1985), or reduces total plant biomass (Tekalign and Hammes, 2005) and minituber yield (Hughes and Keith, 2003). It also induces anatomical changes that result in thicker leaves and wider stem and root diameters; in addition, it increases starch synthesis in the stem pith cells and in the cortical cells of the stem and roots (Tsegaw *et al.*, 2005).

Cycocel has been used to induce *in vitro* tuberization of crops; applications of 500 mg·L<sup>-1</sup> showed growth inhibition and senescence in potato plantlets (Jing *et al.*, 2004).

Potato plants sprayed with 250 mg·L<sup>-1</sup> of cycocel, at 30, 45 and 60 days after planting, had greater tuber yield without affecting their size or sugar and starch content (Shoba *et al.*, 2004). Seven applications at intervals of five days each, of 2,000 mg·L<sup>-1</sup>, increased the number of tubers, tuber dry weight and chlorophyll content (Sharma *et al.*, 1998); in the field, 1,000 mg·L<sup>-1</sup> sprayed on the crop increased yield (Prakash *et al.*,

una de ellas, de 2,000 mg·L<sup>-1</sup>, aumentaron el número de tubérculos, peso seco de tubérculos y contenido de clorofila (Sharma *et al.*, 1998); en campo, 1,000 mg·L<sup>-1</sup> asperjados al cultivo, incrementaron el rendimiento (Prakash *et al.*, 2001) y 1,150 g·ha<sup>-1</sup> aumentó el número de tubérculos por planta y redujo el peso medio de éstos (Rex, 1992).

La producción de minitubérculos en invernadero es un proceso intensivo y tecnificado, que busca maximizar el número de tubérculos mayores de 10 mm de diámetro, por unidad de superficie. Una alternativa para este propósito es incrementar la densidad de población por unidad de superficie, hasta el orden de 100 plantas·m<sup>-2</sup>; sin embargo, al aumentar la densidad de población disminuye el rendimiento por planta (Rubio *et al.*, 2000), por haber menos intercepción de radiación fotosintéticamente activa por planta; además se presentan síntomas de etiolación que debilitan a las plantas y hacen más difícil su manejo.

El objetivo de la presente investigación fue determinar el inhibidor del crecimiento y la dosis de aplicación más adecuada para generar plantas de papa de porte bajo y área foliar reducida, sin afectar su rendimiento en número de tubérculos por planta. Al lograr este objetivo, sería posible incrementar la densidad de población y, con esto, aumentar el rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en un invernadero de cristal e hidroponia, en el que la humedad relativa media fue de 62 %, la temperatura media de 21.5 °C y la radiación varió a lo largo del día, de acuerdo con las condiciones ambientales, con densidades de flujo fotónico de 1,800  $\mu\text{moles m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , como máximo.

Los tratamientos fueron generados a partir de tres inhibidores del crecimiento con cinco concentraciones: paclobutrazol (50, 100, 150, 200 y 250 mg·L<sup>-1</sup>); uniconazol (2.5, 5, 10, 20 y 40 mg·L<sup>-1</sup>), cycocel (200, 400, 800, 1,600 y 2,400 mg·L<sup>-1</sup>) y un testigo. El diseño experimental fue bloques completos al azar con 16 tratamientos y cuatro repeticiones; la unidad experimental consistió de 10 plantas que fueron asperjadas con 12.5 ml·planta<sup>-1</sup> de solución del tratamiento correspondiente, mientras que el testigo fue asperjado solamente con agua. Los tratamientos fueron aplicados a los 30 días después de la emergencia, durante la etapa de tuberización.

Se emplearon minitubérculos de la variedad Gigant, de 15 a 17 mm de diámetro, libres de enfermedades, que fue liberada en Holanda en 1987, precoz (80 a 90 días), piel blanca, yemas superficiales, pulpa crema, forma oblonga-aplanada y susceptible al tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary). Se depositó un minitubérculo por maceta de plástico, con capacidad de un litro de volumen, llena con perlita grado hortícola (1 a 4 mm de diámetro) a 12 cm de profundidad y 45 plantas·m<sup>-2</sup>.

La solución nutritiva utilizada tuvo la concentración de

2001) and 1,150 g·ha<sup>-1</sup> increased the number of tubers per plant and reduced their average weight (Rex, 1992).

The production of mini-tubers in greenhouse conditions is an intensive and technical process which seeks to maximize the number of tubers over 10 mm in diameter, per unit area. An alternative means of achieving this purpose is to increase the population density per unit area, up to the order of 100 plants·m<sup>-2</sup>; however, increasing population density reduces yield per plant (Rubio *et al.*, 2000) by having less interception of photosynthetically active radiation per plant, plus etiolation symptoms appear that weaken plants and make it more difficult to manage them.

The aim of this study was to determine the most appropriate growth inhibitor and application dose to obtain compact potato plants with reduced leaf area, without affecting their yield in number of tubers per plant. By achieving this goal, it would be possible to increase population density and therefore yield.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was established in a glass greenhouse and hydroponics, where the average relative humidity was 62 %, average temperature 21.5 °C and radiation varied throughout the day, according to environmental conditions, with maximum photon flux densities of 1,800  $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .

The treatments were generated from three growth inhibitors with five concentrations: paclobutrazol (50, 100, 150, 200 and 250 mg·L<sup>-1</sup>), uniconazole (2.5, 5, 10, 20 and 40 mg·L<sup>-1</sup>), cycocel (200, 400, 800, 1,600 and 2,400 mg·L<sup>-1</sup>) and a control. For the experiment, a randomized complete block design with 16 treatments and four replications was used. The experimental unit consisted of 10 plants sprayed with 12.5 ml·plant<sup>-1</sup> of the corresponding treatment solution, while the control was sprayed with water only. Treatments were applied at 30 days after emergence, during the period of tuberization.

Disease-free minitubers of the variety Gigant, which was released in the Netherlands in 1987, were used. Their characteristics are as follows: 15 to 17 mm in diameter, early (80 to 90 days), white skin, shallow eyes, light yellow flesh, oblong-flattened shape and susceptible to late blight (*Phytophthora infestans* Mont. De Bary). One minituber was deposited in each 1-liter plastic pot, which was filled with horticultural-grade perlite (1 to 4 mm in diameter) to 12 cm deep and 45 plants·m<sup>-2</sup>.

The nutrient solution used had the following concentration of nutrients, in mg·L<sup>-1</sup>: N 160, P 80, K 250, Ca 250, Mg 75, Fe 4, Mn 0.5, Cu 0.5, Zn 0.5, B 0.5, with pH of 6.0 and final electrical conductivity of 2.0 dS·m<sup>-1</sup>. On average, 500 ml·plant<sup>-1</sup> of the solution was used per day, divided into four irrigations. Throughout

nutrimentos, en  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , siguiente: N 160, P 80, K 250, Ca 250, Mg 75, Fe 4, Mn 0.5, Cu 0.5, Zn 0.5, B 0.5, con pH de 6.0 y conductividad eléctrica final de  $2.0\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ . El gasto promedio por día de la solución fue de  $500\text{ ml}\cdot\text{planta}^{-1}$ , dividido en cuatro riegos. A lo largo del ciclo se hicieron aplicaciones preventivas para controlar el tizón tardío, con mancozeb ( $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), zineb ( $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), clorotalonil ( $1.5\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ); se alternaron aplicaciones de endosulfán y ometoato ( $1\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) cada semana para controlar la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.).

A los 45 días después de la emergencia (DDE), 15 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA) y a los 75 DDE, se evaluó la altura de la planta (cm), peso seco y fresco del tubérculo (g), vástago (g), planta completa (g), número de tubérculos por planta y área foliar ( $\text{cm}^2$ ); ésta fue medida con un integrador LI-COR, modelo LI-3100. El peso seco de los distintos órganos de la planta se obtuvo al mantenerlos en estufa a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 72 h, mientras que los tubérculos fueron seccionados y mantenidos por 96 h en estufa.

El cálculo del índice de área foliar (IAF) se hizo al dividir el área foliar total de la planta entre la superficie de suelo ocupada por la misma. El índice de cosecha (IC) se obtuvo, al momento de la cosecha, al dividir la biomasa de los tubérculos entre la biomasa total acumulada por la planta.

Se hizo el análisis de varianza correspondiente, comparación de medias de Tukey y la prueba de contrastes para grupos de tratamientos con el Statistical Analysis System versión 9.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracteres morfológicos

El uniconazol y paclobutrazol fueron más efectivos para disminuir el crecimiento en altura, área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) en plantas de papa, en comparación con el cycocel (Cuadro 1). El uniconazol a 20 y  $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  redujo la altura de la planta 32 y 40 %, respectivamente, comparado con el tratamiento testigo, que alcanzó 75.5 cm de altura. A los 45 DDA, la reducción de altura de las plantas con los tratamientos a 5 y  $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  del inhibidor fue desde 23 hasta 46 %, con respecto al testigo.

El paclobutrazol desde los 15 DDA inhibió en mayor proporción el crecimiento en altura (Cuadro 1), ya que cuatro de las cinco concentraciones probadas redujeron la altura de la planta (23 a 41 %) con respecto al testigo. Este comportamiento se mantuvo hasta el momento de la cosecha (45 DDA), cuando la altura final de las plantas tratadas con 100 a  $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  sólo fue de 35 a 50 % con respecto al testigo (Cuadro 1).

El cycocel con las mayores concentraciones (800, 1,600 y  $2,400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) disminuyó la altura de las plantas en

the cycle, preventive applications were made to control late blight, with mancozeb ( $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), zineb ( $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) and chlorothalonil ( $1.5\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ); endosulfan and omethoate ( $1\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) were applied on an alternating basis each week to control whitefly (*Bemisia tabaci* Genn.).

At 45 days after emergence (DAE), 15 days after application of treatments (DAA) and 75 DAE, the following variables were assessed: plant height (cm), dry and fresh weight of tuber (g), stem (g), and total plant (g), number of tubers per plant and leaf area ( $\text{cm}^2$ ), which was measured with a LI-COR, model LI-3100 integrator. The dry weight of the different plant organs was obtained by keeping them in an oven at  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  for 72 h, while the tubers were sectioned and kept for 96 h in an oven.

Leaf area index (LAI) was calculated by dividing the total leaf area of the plant by the surface area occupied by it. Harvest index (HI) was obtained at harvest time by dividing the biomass of the tubers by the total biomass accumulated by the plant.

The corresponding analysis of variance, Tukey's means comparison test and the test of contrasts for treatment groups were performed with the Statistical Analysis System version 9.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Morphological characters

Uniconazole and paclobutrazol were more effective in reducing height growth, leaf area (LA) and leaf area index (LAI) in potato plants, compared with cycocel (Table 1). Uniconazole at 20 and  $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  reduced plant height by 32 and 40 % respectively, compared with the control treatment, which reached 75.5 cm in height. At 45 DAA, plant height with the inhibitor treatments at 5 and  $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  was reduced from 23 to 46 % compared with the control.

Paclobutrazol from 15 DAA inhibited height growth to a greater extent (Table 1), as four of the five tested concentrations reduced plant height (23 to 41 %) compared with the control. This behavior continued until harvest time (45 DAA), when the final height of plants treated with 100 to  $250\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  was only 35 to 50 % compared to the control plants (Table 1).

Cycocel at the highest concentrations (800, 1,600 and  $2,400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) decreased plant height by 27 % to 45 DAA (Table 1); this contrasts with the findings by Harvey *et al.* (1991), who stated that it only causes transient inhibition in stem elongation.

The higher growth inhibition by uniconazole and paclobutrazol, compared with cycocel, is attributable to the mode of action of these products, as cycocel inhibits gibberellin biosynthesis in the early stages of its



**CUADRO 1.** Comparación de medias, a los 15 y 45 días después de las aplicaciones, de caracteres morfológicos con cinco concentraciones de inhibidores del crecimiento en papa cv Gigant en cultivo hidropónico.

**TABLE 1.** Means comparison, at 15 and 45 days after the applications, of morphological characters with five concentrations of growth inhibitors in potato cv Gigant in hydroponic culture.

Dosis (mg·L <sup>-1</sup> )	Altura de planta (cm)	Núm. de hojas por planta	IAF	Altura de planta (cm)	Núm. de hojas por planta	IAF
	<b>15 DDA</b>			<b>45 DDA</b>		
0	75.5 a <sup>y</sup>	23.5 a	10.4 a	97.7 a	26.6 ab	13.9 a
	<b>Cycocel</b>					
200	74.7 ab	22.9 abc	10.2 a	83.8 abc	24.5abc	12.2 ab
400	69.0 abc	22.7 abc	9.3 ab	78.5 abcd	24.5 abc	13.4 a
800	66.8 abcd	22.5 abcd	9.1 abc	70.9 bcdef	23.6 abc	13.2 a
1600	70.5 abc	23.5 ab	9.8 ab	74.9 bcde	24.5 abc	13.9 a
2400	65.9 abcd	22.9 abc	8.9 abc	69.9 bcdefg	24.6 abc	12.2 ab
	<b>Uniconazol</b>					
2.5	69.1 abc	23.5 ab	8.9 abc	76.6 abcde	27.2 a	13.1 a
5.0	57.6 cde	21.4 abcde	8.8 abc	60.9 defg	24.5 abc	11.4 abc
10	59.3 abcde	21.5 abcde	8.2 abc	74.6 bcde	25.7 abc	12.9 ab
20	51.6 de	20.0 cde	8.1 abc	56.3 efg	23.0 bc	10.9 abcd
40	45.8 e	19.5 de	6.5 c	52.3 fg	22.5 bc	8.2 cd
	<b>Paclobutrazol</b>					
50	66.5 abcd	24.2 a	10.0 ab	85.5 ab	27.5 a	12.8 ab
100	57.5 cde	21.7 abcde	8.7 abc	62.5 cdefg	23.0 bc	10.4 abcd
150	51.5 de	21.3 abcde	7.4 bc	56.9 defg	22.8 bc	9.3 bcd
200	50.8 de	20.5 bcde	8.2 abc	56.8 defg	24.4 abc	10.7 abcd
250	44.4 e	19.0 e	6.7 c	48.8 g	21.7 c	7.5 c
DMS <sup>z</sup>	17.1	3.0	2.5	21.9	4.1	3.8
CV (%)	19.7	9.7	20.6	22.2	12.0	23.1
Media	61.0	21.9	8.7	69.2	24.9	11.4

<sup>y</sup> Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

<sup>z</sup> DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación; Media: media general de tratamientos.

<sup>y</sup> Means with the same letter within each column are equal according to Tukey's test at  $P \leq 0.05$ .

<sup>z</sup> DMS: Spanish acronym for least significant difference, CV: coefficient of variation; Media: overall mean of treatments.

27 % hasta los 45 DDA (Cuadro 1); esto se contrapone con lo establecido por Harvey *et al.* (1991), en el sentido de que sólo causa inhibición transitoria en la elongación del tallo.

La mayor inhibición del crecimiento por el uniconazol y paclobutrazol, en comparación con el cycocel, se atribuye al modo de acción de estos productos, ya que el cycocel inhibe la biosíntesis de giberelinas en las primeras etapas de su biosíntesis, mientras que el uniconazol y paclobutrazol, derivados del triazol, inhiben la biosíntesis de giberelinas en pasos posteriores (Rademacher, 2000).

El uniconazol y paclobutrazol no solamente disminuyeron el crecimiento en altura de las plantas, sino que retrasaron el desarrollo de éstas, ya que el número de hojas de las plantas de ambos grupos fue menor en comparación con aquéllas del grupo de tratamientos de cycocel. Con el ANOVA general de los tratamientos, los correspondientes a uniconazol (20 y 40 mg·L<sup>-1</sup>) y paclobutrazol (200 y 250 mg·L<sup>-1</sup>) fueron menores con respecto al testigo, con 3 y 4 hojas menos a los 15 DDA y de 4 a 6 a los 45 DDA (Cuadro 1). Lo anterior se debe, posiblemente, al bloqueo de las giberelinas que participan en el desarrollo de la lámina foliar (Carrera *et al.*, 1999).

biosynthesis, while uniconazole and paclobutrazol, triazole derivatives, inhibit gibberellin biosynthesis in later steps (Rademacher, 2000).

Uniconazole and paclobutrazol not only reduced height growth in the plants, but also delayed their development, as the number of leaves per plant in both groups was lower compared with those of the cycocel-treated group. The overall ANOVA of the uniconazole (20 and 40 mg·L<sup>-1</sup>) and paclobutrazol (200 and 250 mg·L<sup>-1</sup>) treatments were lower compared with the control, with 3-4 leaves less at 15 DAA and 4-6 less at 45 DAA (Table 1). This is possibly due to the blocking of gibberellins involved in the development of the leaf blade (Carrera *et al.*, 1999).

Paclobutrazol and uniconazole similarly affected LA and LAI compared with cycocel. Applications of 40 mg·L<sup>-1</sup> uniconazole and 250 mg·L<sup>-1</sup> paclobutrazol decreased LAI with values of 6.5 and 6.7, respectively, compared with that of the control plants (10.4) at 15 DAA. This behavior continued to 45 DAA with LAI of 8.2 and 7.5 for uniconazole and paclobutrazol, respectively, representing 59 and 54 % of the LAI value of the control plants (Table 1). The production of plants with less LA due to the use of growth

Asimismo, el paclobutrazol y uniconazol afectaron el AF y el IAF, en comparación con el cycocel. Las aplicaciones de uniconazol de 40 mg·L<sup>-1</sup> y paclobutrazol de 250 mg·L<sup>-1</sup> disminuyeron el IAF con valores de 6.5 y 6.7, respectivamente, comparado con el de las plantas testigo (10.4) a los 15 DDA. Este comportamiento se mantuvo hasta los 45 DDA con IAF de 8.2 y 7.5 para uniconazol y paclobutrazol, que representaron 59 y 54 % del IAF de las plantas testigo (Cuadro 1). La obtención de plantas con menor AF debido al uso de inhibidores del crecimiento puede incrementar la densidad de población hasta obtener IAF similares con el obtenido en las plantas testigo y, de esta manera, incrementar la superficie para la captación de radiación por unidad de superficie de invernadero, ya que se ha observado una relación lineal entre el IAF y cantidad de radiación interceptada (Khurana y McLaren, 1982). El cycocel, aun en concentraciones altas (1,600 y 2,400 mg·L<sup>-1</sup>), no afectó el número de hojas, ni el índice de área foliar a los 15 y 45 DDA.

### Rendimiento y distribución de biomasa

A los 15 y 45 DDA ninguno de los inhibidores del crecimiento afectó negativamente el número de tubérculos por planta (Cuadros 2 y 3). En los primeros 15 DDA, el cycocel y el paclobutrazol no influyeron en la acumulación de biomasa del tubérculo (Cuadro 2); sin embargo, el uniconazol, en la menor y mayor concentración aplicada disminuyó la biomasa de los tubérculo, y este comportamiento se mantuvo hasta la cosecha, a los 45 DDA (Cuadro 3), periodo en que ambos inhibidores disminuyeron la biomasa de tubérculos, tallo, hojas y de la planta completa. También, el cycocel afectó la biomasa de tubérculo y de la planta completa al final del ciclo, pero no afectó la acumulación de biomasa de tallos y hojas; este comportamiento es contrario a lo encontrado en otras investigaciones (Prakash *et al.*, 2001; Shoba *et al.*, 2004).

Las concentraciones de cycocel, de 200 a 2,400 mg·L<sup>-1</sup>, no afectaron el peso seco de tubérculos, tallo, hojas o de la planta completa a los 15 DDA (Cuadro 2). A los 45 DDA, las concentraciones de 400, 1,600 y 2,400 mg·L<sup>-1</sup> redujeron la biomasa de tubérculo 32, 41 y 37 %, respectivamente; esto se refleja en disminución de la biomasa total de la planta (25 a 30 %), ya que no se redujo la biomasa de tallo y hojas (Cuadro 3), lo que indica que la biomasa de tubérculo es el principal componente de la biomasa total. No obstante lo anterior, el menor índice de cosecha en tales tratamientos (0.68 - 0.75) indica que no solamente disminuyó la producción de asimilados, sino que se distribuyeron en menor cantidad hacia los tubérculos (Cuadro 3).

El uniconazol, a dosis de 2.5 y 40 mg·L<sup>-1</sup>, 15 DDA, disminuyó la biomasa de tubérculo (6 y 7 g), con relación a la producida por las plantas testigo; a 40 mg·L<sup>-1</sup> redujo la biomasa de tallo, hojas y de la planta completa en 48, 31 y 34 %, respectivamente (Cuadro 2). A los 45 DDA, con excepción de la solución a 20 mg·L<sup>-1</sup>, el resto de las

inhibitors can increase population density until obtaining LAI values similar to that obtained in the control plants and, thus, increase the area for the capture of radiation per unit greenhouse area, as a linear relationship has been observed between LAI and amount of radiation intercepted (Khurana and McLaren, 1982). Cycocel, even at high concentrations (1,600 and 2,400 mg·L<sup>-1</sup>), did not affect the number of leaves or leaf area index at 15 and 45 DAA.

### Biomass yield and distribution

At 15 and 45 DAA, none of the growth inhibitors negatively affected the number of tubers per plant (Tables 2 and 3). In the first 15 DAA, cycocel and paclobutrazol had no effect on tuber biomass accumulation (Table 2); however, uniconazole, in the lowest and highest concentration applied, decreased tuber biomass and this behavior continued until harvest at 45 DAA (Table 3), during which the other two inhibitors decreased the biomass of tubers, stems, leaves and the total plant. Also, cycocel affected tuber and total plant biomass at the end of the cycle, but did not affect the biomass accumulation of stems and leaves; this behavior is contrary to findings reported in other studies (Prakash *et al.* 2001; Shoba *et al.*, 2004).

Cycocel concentrations of 200 to 2,400 mg·L<sup>-1</sup> did not affect the dry weight of tubers, stem, leaves or the total plant at 15 DAA (Table 2). At 45 DAA, concentrations of 400, 1,600 and 2,400 mg·L<sup>-1</sup> reduced tuber biomass by 32, 41 and 37 % respectively; this is reflected in decreased total plant biomass (25 to 30 %) as it did not reduce stem and leaf biomass (Table 3), indicating that tuber biomass is the main component of total biomass. Notwithstanding the foregoing, the lowest harvest index in these treatments (0.68 - 0.75) indicates that they not only decreased the production of assimilates, but they were also distributed in lesser amounts to the tubers (Table 3).

Uniconazole, at doses of 2.5 and 40 mg·L<sup>-1</sup>, 15 DAA, decreased tuber biomass (6 and 7 g) in relation to the amount produced by the control plants; at 40 mg·L<sup>-1</sup>, it reduced stem, leaf and total plant biomass by 48, 31 and 34 %, respectively (Table 2). At 45 DAA, except for the solution at 20 mg·L<sup>-1</sup>, the rest of the tested concentrations negatively affected tuber biomass; at 40 mg·L<sup>-1</sup>, tuber biomass reached only 47 % of that generated by the control plants. Likewise, it decreased stem, leaf and total plant biomass (Table 3), representing 39, 61 and 49 %, respectively, of the amounts produced by the control plants. However, the harvest index was equal to that of the control plants, indicating that the lower accumulation of aboveground biomass in the plant leads to reduced accumulation of carbohydrates in the tuber. This is contrary to what was detected by Fujino *et al.* (1995), who mentioned that the reduction in GAs, after application of uniconazole, causes the reorientation of microtubules in stolon cells, which favors the onset of tuber formation.

**CUADRO 2.** Comparación de medias, a los 15 días después de la aplicación, de variables de rendimiento de papa cv. Gigant y distribución de biomasa, con cinco concentraciones de inhibidores del crecimiento en cultivo hidropónico.

**TABLE 2.** Means comparison, at 15 days after application, of yield variables of potato cv. Gigant and biomass distribution, with five concentrations of growth inhibitors in hydroponic culture.

Tratamiento (mg·L <sup>-1</sup> )	Número de tubérculos por planta	Peso seco por planta (g)			
		Tubérculo	Tallo	Hojas	Total
0	7.83 a <sup>y</sup>	19.14 ab	2.53 ab	7.58 ab	30.59 ab
<b>Cycocel</b>					
200	7.91 a	17.20 ab	2.57 a	7.67 a	28.85 abc
400	7.33 a	14.20 ab	2.13 abcdef	6.25 abcd	24.06 abc
800	8.66 a	13.69 ab	2.17 abcde	6.49 abcd	23.85 abc
1600	7.83 a	16.53 ab	2.30 abcd	7.59 ab	27.99 abc
2400	9.00 a	16.00 ab	2.08 abcdef	6.77 abcd	26.20 abc
<b>Uniconazol</b>					
2.5	8.58 a	13.14 b	2.24 abcd	6.28 abcd	23.03 abc
5.0	8.91 a	15.96 ab	1.73 abcdefg	6.12 abcd	25.25 abc
10	9.91 a	13.58 ab	1.70 bcdefg	5.59 bcd	22.25 bc
20	9.16 a	17.30 ab	1.45 defg	5.94 abcd	26.12 abc
40	7.75 a	12.34 b	1.31 fg	5.18 cd	20.17 c
<b>Paclobutrazol</b>					
50	7.83 a	20.63 a	2.34 abc	7.11 abc	31.71 a
100	7.91 a	16.81 ab	1.77 abcdefg	6.55 abc	26.46 abc
150	8.00 a	13.92 ab	1.35 efg	5.23 cd	21.80 bc
200	9.00 a	18.94 ab	1.54 defg	5.95 abcd	27.85 abc
250	8.25 a	14.29 ab	1.21 g	4.91 d	21.71 bc
DMS <sup>z</sup>	2.92	7.23	0.84	2.03	9.04
CV (%)	24.60	32.1	31.38	22.64	24.99
Media	8.36	15.86	1.90	6.33	25.49

<sup>y</sup> Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

<sup>z</sup> DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación; Media: media general de tratamientos.

<sup>y</sup> Values with the same letter within each column are equal according to Tukey's test at  $P \leq 0.05$ .

<sup>z</sup> DMS: Spanish acronym for least significant difference, CV: coefficient of variation; Media: overall mean of treatments.

concentraciones probadas afectaron negativamente la biomasa de tubérculo; a 40 mg·L<sup>-1</sup> la biomasa de tubérculo sólo alcanzó 47 % de la generada por las plantas testigo; de la misma manera afectó la biomasa de tallo, hojas y total (Cuadro 3), representando 39, 61 y 49 %, respectivamente, con relación al testigo. No obstante, el índice de cosecha fue igual al de las plantas testigo; esto indica que la menor acumulación de biomasa en la parte aérea de la planta conduce a la menor acumulación de carbohidratos en el tubérculo. Lo anterior es contrario a lo detectado por Fujino *et al.* (1995), quienes mencionan que la reducción de AGs, después de la aplicación de uniconazol, provoca la reorientación de los microtubúlos en las células del estolón, lo que favorece el inicio de la formación del tubérculo.

De las concentraciones evaluadas de paclobutrazol a los 15 DDA, ninguna ocasionó reducción de biomasa de tubérculo y sólo 150 y 250 mg·L<sup>-1</sup> provocaron mermas en la materia seca del tallo (40 a 52 %) con respecto a las plantas testigo, mientras que en hojas únicamente a 250 mg·L<sup>-1</sup> afectó negativamente su biomasa que

None of the paclobutrazol concentrations evaluated at 15 DAA reduced tuber biomass and only the 150 and 250 mg·L<sup>-1</sup> concentrations led to declines in stem dry matter (40 to 52%) compared to control plants, while only the 250 mg·L<sup>-1</sup> concentration affected leaf biomass, representing 64 % of that accumulated in control plants (Table 2). This affected the accumulation of total plant biomass in both treatments.

At 45 DAA (75 DAE), none of the paclobutrazol concentrations reduced the number of tubers per plant compared with the control (Table 3), which does not coincide with the findings of other studies with applications of 150 and 450 mg·L<sup>-1</sup>, since they increased the number of tubers in soilless culture (Lim *et al.*, 2004); however, all concentrations, except for the dose at 150 mg·L<sup>-1</sup>, reduced tuber biomass accumulation from 25.9 to 40.8 g, compared with 58.8 g accumulated in control plant tubers (Table 3). Concentrations of 100 to 250 mg·L<sup>-1</sup> had a negative effect on stem biomass accumulation, decreasing it from 45 to 73 % compared to the control, while leaf biomass decreased

**CUADRO 3.** Comparación de medias, a los 45 días después de la aplicación, de variables de rendimiento de papa cv. Gigant y distribución de biomasa, con cinco concentraciones de inhibidores del crecimiento, en cultivo hidropónico.

**TABLE 3.** Comparison of means, at 45 days after application, of yield variables of potato cv. Gigant and biomass distribution, with five concentrations of growth inhibitors in hydroponic culture.

Tratamiento (mg·L <sup>-1</sup> )	Número de tubérculos por planta	Peso seco por planta (g)				IC
		Tubérculos	Tallo	Hojas	Total	
0	9.08 ab <sup>y</sup>	58.8 a	3.6 a	10.3 abc	74.5 a	0.78 abc
<b>Cycocel</b>						
200	8.50 ab	50.2 ab	3.1 abc	9.0 abcde	63.8 ab	0.78 abc
400	11.75 a	39.8 bcd	3.4 a	10.7 ab	55.7 b	0.71 ef
800	10.58 ab	46.2 abc	3.1 abc	10.5 ab	61.5 ab	0.75 cde
1600	9.75 ab	35.1 cde	3.3 ab	11.4 a	51.4 bc	0.68 f
2400	9.75 ab	37.0 bcde	3.0 abc	9.8 abc	51.5 bc	0.71 def
<b>Uniconazol</b>						
2.5	10.08 ab	37.0 bcde	2.4 abcd	9.6 abcd	50.9 bc	0.72 def
5.0	9.75 ab	37.7 bcde	1.9 cdef	8.17 bcdef	49.3 bcd	0.76 bcd
10	10.75 ab	39.3 bcde	2.6 abcd	9.51 abcd	53.1 bc	0.74 cde
20	10.16 ab	47.0 abc	1.7 def	8.19 bcdef	58.3 ab	0.80 ab
40	9.41 ab	27.8 de	1.4 f	6.35 ef	36.9 cd	0.75 cde
<b>Paclobutrazol</b>						
50	8.00 b	40.8 bcd	3.0 abc	9.64 abcd	54.8 b	0.74 cde
100	10.41 ab	36.1 cde	2.0 bcdef	8.37 bcde	48.0 bcd	0.75 cde
150	8.83 ab	47.0 abc	1.0 def	6.80 def	56.7 b	0.82 a
200	10.25 ab	40.0 bcd	1.6 def	7.63 cde	50.6 bcd	0.78 abc
250	8.08 ab	25.9 e	1.3 f	5.75 f	34.1 d	0.75 bcde
DMS <sup>z</sup>	3.55	13.5	1.2	2.85	16.7	0.04
CV (%)	25.83	23.6	35.1	22.62	22.1	4.65
Media	9.69	40.4	2.5	8.87	53.2	0.75

<sup>y</sup> Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

<sup>z</sup> DMS: Diferencia mínima significativa; CV: Coeficiente de variación; Media: media general de tratamientos.

<sup>y</sup> Values with the same letter within each column are equal according to Tukey's test at  $P \leq 0.05$ .

<sup>z</sup> DMS: Spanish acronym for least significant difference, CV: coefficient of variation; Media: overall mean of treatments.

representó 64 % de la acumulada en las plantas testigo (Cuadro 2). Esto afectó la acumulación de la biomasa de la planta completa en ambos tratamientos.

A los 45 DDA (75 DDE), ninguna de las concentraciones de paclobutrazol redujo el número de tubérculos por planta con respecto al testigo (Cuadro 3), lo que no coincide con lo reportado en otras investigaciones con aplicaciones de 150 y 450 mg·L<sup>-1</sup>, ya que incrementaron el número de tubérculos en cultivos sin suelo (Lim *et al.*, 2004); sin embargo, la acumulación de biomasa en el tubérculo, y con excepción de la dosis a 150 mg·L<sup>-1</sup>, todas las concentraciones empleadas redujeron a ésta, desde 25.9 hasta 40.8 g, comparado con 58.8 g acumulados en tubérculo en las plantas testigo (Cuadro 3). Las concentraciones de 100 a 250 mg·L<sup>-1</sup> tuvieron efecto negativo en la acumulación de biomasa del tallo y la disminuyeron de 45 a 73 %, mientras que en las hojas disminuyó (44 %) solamente a 250 mg·L<sup>-1</sup>.

A los 15 DDA, la biomasa de la planta completa no mostró disminución con ninguno de los tratamientos

(44 %) only at 250 mg·L<sup>-1</sup>.

At 15 DAA, total plant biomass showed no decrease with any of the treatments (Table 2), but at 45 DAA, paclobutrazol treatments reduced it by 46 to 74 % of that accumulated by the control plants (Table 3). The lowest values were obtained with 100, 200 and 250 mg·L<sup>-1</sup>, indicating that tuber biomass comprises a large proportion of total plant biomass.

With uniconazole at 20 mg·L<sup>-1</sup>, the harvest index was equal to that of the control, suggesting that the lower accumulation of tuber biomass is due to the overall reduction in plant growth and development, which results in lower assimilate production. This is contrary to that indicated by Balamani and Poovaiah (1985), who note that paclobutrazol increases the distribution of assimilates to the tubers, but is consistent with the findings reported by Tekalign and Hammes (2005) who point out that this regulator reduces total plant biomass and tuber yield (Hughes and Keith, 2003); therefore, there is not necessarily an increase in



(Cuadro 2); sin embargo, a los 45 DDA los tratamientos con paclobutrazol la redujeron y representó desde 46 hasta 74 % de la acumulada por las plantas testigo (Cuadro 3). Los valores más bajos fueron obtenidos con 100, 200 y 250 mg·L<sup>-1</sup>; esto indica que la biomasa total de la planta está constituida en gran proporción por la biomasa de tubérculo.

Con uniconazol a 20 mg·L<sup>-1</sup>, el índice de cosecha fue igual al del testigo, lo que sugiere que la menor acumulación de biomasa en tubérculo se debe a la reducción generalizada del crecimiento y desarrollo de la planta, lo que repercute en la menor producción de asimilados. Esto es contrario a lo indicado por Balamani y Poovaiah, (1985), quienes mencionan que el paclobutrazol incrementa la distribución de asimilados hacia los tubérculos, y coincide con lo establecido por Tekalign y Hammes (2005) al señalar que este regulador reduce la biomasa total de la planta y el rendimiento de tubérculos (Hughes y Keith, 2003), por lo que no sucede necesariamente un incremento en la distribución de asimilados hacia los tubérculos como lo señalan Balamani y Poovaiah (1985).

Los tratamientos que generaron plantas de menor altura y AF, sin disminución del número de tubérculos por planta y del índice de cosecha fueron 20 mg·L<sup>-1</sup> de uniconazol con 10.93 de IAF, que representó 78 % del de las plantas testigo, y 150·mg·L<sup>-1</sup> de paclobutrazol con 47 g de biomasa de tubérculo y 9.34 de IAF (Cuadro 3). Por lo anterior, es posible que con aplicaciones de uniconazol (20 mg·L<sup>-1</sup>) o paclobutrazo (150 mg·L<sup>-1</sup>), se puedan manejar densidades de población mayores a las establecidas, hasta niveles de IAF como los del testigo (13.93), sin que se disminuya el rendimiento por planta de papa en invernadero, pero obteniéndose un mayor número de tubérculos, con lo que se obtendría mayor rendimiento por unidad de superficie.

### CONCLUSIONES

El paclobutrazol y uniconazol, con 150 y 20 mg·L<sup>-1</sup>, respectivamente, disminuyeron el crecimiento y el índice de área foliar de las plantas de papa, sin afectar el rendimiento en número de tubérculos por planta y biomasa de éstos.

La aplicaciones de cycocel, desde 200 hasta 2,400 mg·L<sup>-1</sup>, no son efectivas para modificar la estructura de la planta de papa.

### LITERATURA CITADA

- BALAMANI, V.; POOVAIAH, B. W. 1985. Retardation of shoot growth and promotion of tuber growth of potato plants by paclobutrazol. *Amer. Potato Jour.* 62: 363-369.
- CARRERA, E.; JACKSON, S. D.; PRAT, S. 1999. Feedback control and diurnal regulation of gibberellin 20-oxidase transcript level in potato. *Plant Physiology* 119: 765-773.
- FUJINO, K.; KODA, Y.; KIKUTA, Y. 1995. Reorientation of cortical microtubules in the sub-apical region during tuberization in single-node stem segments of potato in culture. *Plant Cell Physiology* 36: 891-895.
- HANNAPEL, J. D.; CHEN, H.; ROSIN, M. F.; BANERJEE, K. A.; DAVIES, J. P. 2004. Molecular control of tuberization. *Amer. Jour. of Potato Research* 81: 263-274.
- HARVEY, M. B. R.; CROTHERS, H. S.; EVANS, E. N.; SELVY, C. 1991. The use of growth retardants to improve microtuber formation by potato (*Solanum tuberosum*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 27: 59-64.
- HUGHES, B. R.; KEITH, C. N. F. 2003. Effect of paclobutrazol treatments on growth and tuber yields in greenhouse – grown Shepody seed potatoes. *Acta Horticulturae* 619: 271-277.
- JING, W.; ZHONGMIN, A.; XUEZAN, F.; JUNMING, L. 2004. Effect of chlormequat on overwintering of potato plantlets *in vitro*. *Plant Physiology* 40(4): 441-442.
- KHURANA, S. T.; MCLAREN, H. 1982. The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. *Potato Research* 25: 329-342.
- LIM, H. T.; YOON, C.; CHOI, S.; DITHAL, S. P. 2004. Application of gibberellic acid and paclobutrazol for efficient production of potato (*Solanum tuberosum* L.) minitubers and their dormancy breaking under soilless culture system. *Journal of the Korean Society for Horticultural Science* 45(4): 189-193.
- the distribution of assimilates to the tubers as noted by Balamani and Poovaiah (1985).
- The treatments that generated lower plant height and LA, without reducing the number of tubers per plant and harvest index, were 20 mg·L<sup>-1</sup> of uniconazole with LAI of 10.93, representing 78 % of the LAI value of the control plants, and 150·mg·L<sup>-1</sup> of paclobutrazol with 47 g of tuber biomass and LAI of 9.34 (Table 3). Therefore, with applications of uniconazole (20 mg·L<sup>-1</sup>) or paclobutrazo (150 mg·L<sup>-1</sup>), it is possible to handle population densities greater than those established, up to the same LAI levels as those of the control (13.93) without reducing the yield per potato plant in the greenhouse, but obtaining a greater number of tubers and thus higher yields per unit area.

### CONCLUSIONS

Paclobutrazol and uniconazole, at 150 and 20 mg·L<sup>-1</sup>, respectively, decreased growth and leaf area index of potato plants, without affecting yield in number of tubers per plant and their biomass.

Cycocel applications, from 200 to 2,400 mg·L<sup>-1</sup>, are not effective in modifying the structure of the potato plant.

*End of English Version*

- PRAKASH, P.; CHETTI, M. B.; PATIL, S. S. 2001. Effect of plant growth regulators on growth parameters and yield in potato. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 14(4): 938-942.
- RADEMACHER, W. 2000. Growth retardants: Effects on giberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology* 51: 501-531.
- REX, L. B. 1992. Effect of two plant growth regulators on the yield and quality of Russet Burbank potatoes. *Potato Research* 35(3): 227-233.
- RODRÍGUEZ-FALCÓN, M.; BOU, J.; PRAT, S. 2006. Seasonal control of tuberization in potato: Conserved elements with the flowering response. *Annual Review of Plant Biology* 57: 151-180.
- RUBIO, C. O. A.; RANGEL, G. J.; FLORES, L. R.; MAGALLANES, G. J. V.; DÍAZ, H. C.; ZAVALA, Q. T.; RIVERA, P. A.; CADENA, H. M.; ROCHA, R. R.; ORTÍZ, T. C.; LÓPEZ, D. H.; DÍAZ, V. M.; PAREDES, T. A. 2000. Manual para la Producción de Papa en las Sierras y Valles Altos del Centro de México. Libro Técnico Núm. 1. SAGAR. INIFAP. CIRCE.
- Campo Experimental Valle de Toluca. Zinacantepec, Estado de México. 79 p.
- SHARMA, N.; KAUR, N.; GUPTA, A. K. 1998. Effects of gibberellic acid and chlorocholine chloride on tuberization and growth of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal Sci. Food Agric.* 78: 466-470
- SHOBA, N. ; NATARAJAN, S. ; KANNAN, M. ; VEERARAGAVATHATHAM, D. 2004. Effect of cycocel and ethephon on tuber yield of sweet potato clones COCIP-1 and IGSP-9. *Journal of Root Crops* 30(1): 65-69.
- TEKALIGN, T; HAMMES, P. S. 2005. Growth and biomass production in potato grown in the hot tropics as influenced by paclobutrazol. *Plant Growth Regulation* 45: 37-46.
- TSEGAW, T.; HAMMES, S.; ROBBERTSE, J. 2005. Paclobutrazol-induced leaf, stem, and root anatomical modification in potato. *Hortscience* 40(5): 1343-1346.
- VREUGDENHIL, D.; SERGEEVA, I. L. 1999. Gibberellins and tuberization in potato. *Potato Research* 42: 471-481.