

The use of plant growth retardants in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings

Uso de retardadores de crecimiento vegetal en plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Norma Miguel-Zarate¹; Oscar J. Ayala-Garay²;
Felipe Sánchez-del Castillo¹; J. Jesús Magdaleno-Villar^{1*}

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

²Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, MÉXICO.

*Corresponding author: jmagdalenovillar8@gmail.com, tel. 595 95 215 00, ext. 6313.

Abstract

An alternative tomato production system consists of establishing three short crop cycles per year and managed with a high population density (9 plants·m⁻²) and early blunting. For this purpose, it is necessary to extend the seedbed phase until two months. The aim of this study was to evaluate the effect of three growth retardants (Uniconazole, Paclobutrazol and Propiconazole) on the quality of DRD 8537 commercial hybrid tomato seedlings, with one or two applications (at 25 and 50 days after sowing [das]) and two doses per retardant (low and high). Plant height, stem diameter, and number of leaves were evaluated at 31, 49 and 66 das. In addition, the leaf area, fresh weight, and dry matter content of the plants were evaluated at 66 das. The retardants affected height, diameter, fresh weight, and dry matter. The number of applications had no significant effect, and the high dose reduced height and leaf area. The retardants allowed extending seedling time on the seedbed until two months without affecting plant quality. Paclobutrazol was the retardant with the best response in terms of reducing height and leaf area, resulting in more compact seedlings.

Keywords: intensive cultivation, growth retardant, seedbed, cycle reduction, triazoles.

Resumen

Un sistema alternativo de producción de jitomate consiste en establecer tres ciclos cortos de cultivo al año manejados con alta densidad de población (9 plantas·m⁻²) y despuntes tempranos. Para lograr lo anterior, es necesario alargar la fase de almacigo hasta dos meses. En este estudio, el objetivo fue evaluar el efecto de tres retardadores de crecimiento (Uniconazol, Paclobutrazol y Propiconazol), con una o dos aplicaciones (a los 25 y 50 días después de la siembra [dds]) y dos dosis por retardador (baja y alta), sobre la calidad de plántulas de jitomate del híbrido comercial DRD 8537. A los 31, 49 y 66 dds se evaluó la altura de planta, el diámetro de tallo y el número de hojas. A los 66 dds, además de lo anterior, se evaluó el área foliar, el peso fresco y el contenido de materia seca de la planta. Los retardadores afectaron la altura, el diámetro, el peso fresco y la materia seca. El número de aplicaciones no tuvo efecto significativo, y la dosis alta redujo la altura y el área foliar. Los retardadores permitieron alargar el periodo de la plántula en almacigo a dos meses, sin afectar su calidad. El Paclobutrazol fue el retardador que tuvo mejor respuesta en la reducción de la altura y el área foliar, lo cual se traduce en plántulas más compactas.

Palabras clave: cultivo intensivo, regulador de crecimiento, semillero, reducción de ciclo, triazoles.



Introduction

The greenhouse tomato production system commonly practiced in Northern Europe and North America, including Mexico, is based on the use of varieties with an undetermined habit (Sánchez-del Castillo, Bastida-Cañada, Moreno-Pérez, Contreras-Magaña, & Sahagún-Castellanos, 2014). In this system, seedlings are transplanted into improved soil or hydroponic substrates at densities of 2 to 3 plants·m⁻², and are tutored with one or two stems up to 3 m in height to harvest 15 to 20 clusters per plant in a 10 to 11 month crop cycle, and 7 to 8 month harvest period (Sánchez-del Castillo et al., 2014). Under these conditions, yields of 400 t·ha⁻¹·yr⁻¹ can be achieved, although production costs are very high (Ramos-Fernández, Ayala-Garay, Pérez-Grajales, Sánchez-del Castillo, & Magdaleno-Villar, 2021).

As an alternative, a production system based on establishing several crop cycles in one year has been developed (Ponce-Ocampo, Sánchez-del Castillo, Contreras-Magaña, & Corona-Sáez, 2000). This is achieved by plant blunting (in which the growth apex and lateral shoots are removed) in a production system with few clusters (1 to 5 per plant) and high population densities (8, 9, 12, 16, 20 or more plants·m⁻²) (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Vázquez-Rodríguez, & González-Núñez, 2017; Villegas-Cota et al., 2004; Santos & Sánchez-del Castillo, 2003). Blunting decreases plant height from 2-3 m to only 90-100 cm; with this, the period from transplanting to the end of harvest is reduced by 66 %, from 270 to 90 days approximately, with a 180 t·ha⁻¹ yield per cycle (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, & Contreras-Magaña, 2012). By reducing the crop cycle, phytosanitary problems can be reduced and the harvest time shortened, and this can be used for programming the harvest to occur in good-price market windows and improving the producer's income. Likewise, lower greenhouses with a lesser degree of technification can be used, and this, in turn, can reduce production costs per cycle (Sánchez-del Castillo et al., 2017).

Under this system, it is possible to obtain three annual production cycles, which is achieved by maintaining the crop for 30 days in the seedbed and 105 days in the field. However, the plant uses the first 60 days only for vegetative growth. In this regard, in order to make the process more efficient, the plant has to develop those 60 days in the seedbed, so that production in the field would only take 75 days (2.5 months). In this way, two management options are possible: one with four annual cycles with three clusters and the other with five clusters per plant and three cycles per year (90 days per cycle and 8 plants·m⁻²).

Introducción

El sistema de producción de jitomate en invernadero que se practica normalmente en el Norte de Europa y de América, incluso en México, se basa en el uso de variedades de hábito indeterminado (Sánchez-del Castillo, Bastida-Cañada, Moreno-Pérez, Contreras-Magaña, & Sahagún-Castellanos, 2014). En dicho sistema, las plántulas se trasplantan a suelo mejorado o a sustratos hidropónicos a densidades de 2 a 3 plantas·m⁻², y se conducen con uno o dos tallos hasta 3 m de altura para cosechar de 15 a 20 racimos por planta en un ciclo de cultivo de 10 a 11 meses y periodo de cosecha de 7 a 8 meses (Sánchez-del Castillo et al., 2014). Bajo estas condiciones, se puede alcanzar un rendimiento de 400 t·ha⁻¹·año⁻¹, aunque los costos de producción son muy altos (Ramos-Fernández, Ayala-Garay, Pérez-Grajales, Sánchez-del Castillo, & Magdaleno-Villar, 2021).

Como alternativa, se ha desarrollado un sistema de producción basado en establecer varios ciclos de cultivo en un año (Ponce-Ocampo, Sánchez-del Castillo, Contreras-Magaña, & Corona-Sáez, 2000). Lo anterior se logra mediante el despunte de la planta (en el cual se elimina el ápice de crecimiento y los brotes laterales) en un sistema de producción con pocos racimos (de 1 a 5 por planta) y densidades de población altas (8, 9, 12, 16, 20 o más plantas·m⁻²) (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, Vázquez-Rodríguez, & González-Núñez, 2017; Villegas-Cota et al., 2004; Santos & Sánchez-del Castillo, 2003). Con el despunte disminuye la altura de la planta, de 2-3 m a sólo 90-100 cm; con ello, el periodo de trasplante a fin de cosecha se reduce 66 %, de 270 a 90 días aproximadamente, con un rendimiento de 180 t·ha⁻¹ por ciclo (Sánchez-del Castillo, Moreno-Pérez, & Contreras-Magaña, 2012). Al reducir el ciclo de cultivo pueden disminuir los problemas fitosanitarios y la cosecha se concentra en poco tiempo, con lo cual se pueden programar ventanas a buen precio en el mercado y mejorar el ingreso del productor. Asimismo, se pueden utilizar invernaderos menos altos y con menor grado de tecnificación, lo que puede reducir los costos de producción por ciclo (Sánchez-del Castillo et al., 2017).

Bajo dicho sistema, es posible obtener tres ciclos anuales, lo cual se logra al mantener el cultivo 105 días en el área de producción y 30 días en el almácigo. Sin embargo, la planta emplea los primeros 60 días únicamente para crecimiento vegetativo. En este sentido, para hacer más eficiente el proceso, se requiere que la planta desarrolle esos 60 días en el almácigo, así la etapa de producción llevaría sólo 75 días (2.5 meses). De esta forma, se pueden tener dos opciones de manejo: una con cuatro ciclos anuales a

On the other hand, keeping the seedlings in containers for 60 days may result in plants with thin leaves and stems, increased height and presence of flowers, which describes a poor quality seedling. This is due to competition among plants for light, nutrients and space for root development. An alternative to avoid poor quality plants is the use of growth retardants, which are substances that inhibit gibberellin synthesis and shorten internodes, which reduces plant height and their leaf area (Jankiewicz, 2003; Rademacher, 2000; Ramírez et al., 2005; Ugur & Kavak, 2007).

Growth retardants are used to obtain low, compact plants, with thick stems and vigorous leaves, traits desired in the production of high quality tomato seedlings. Therefore, the aim of this research was to produce tomato plants in a seedbed with sufficient quality for intensive greenhouse cultivation, using plant growth retardants.

Materials and methods

This study was carried out during the autumn-winter cycle in a chapel-type greenhouse with a metallic structure and polyethylene cover (75 % light transmission), located at 19° 20' N, 98° 53' W and 2,250 m a. s. l. in Chapingo, State of Mexico.

Sowing was carried out in 60-cavity polystyrene trays, with each cavity having a volume of 170 mL. The substrate used was a mixture of peat moss and perlite at a ratio of 2:1 (v/v). Two seeds were deposited per cavity; once they emerged, one seedling was removed so that all cavities would have only one before treatment application. The DRD 8537 hybrid known as "Martino 37" (Seminis, St. Louis Missouri, USA) was used as plant material; this has a ball-type fruit and a determinate growth habit, and can form up to five clusters.

Three growth retardants were tested: Uniconazole (Sumagic®, Valent, Chile), Paclobutrazol (Cultar® 25 SC, Syngenta, Switzerland) and Propiconazole (Tilt®, Syngenta, Switzerland), with two application levels (first level: one application at 25 days after sowing [das], second level: applications at 25 and 50 das), and two application doses of each product (low and high; factor nested in products since the doses were different in each case). In addition, an absolute control without applications was used, resulting in 13 treatments (Table 1).

A completely randomized design with a factorial arrangement (3x2x2) and four replicates was used. The experimental unit (EU) was 15 seedlings, so a complete tray was used for the four replicates. The retardants were applied by foliar sprays until completely covering the foliage of the plants, with the same number of

tres racimos y otra con cinco racimos por planta y tres ciclos al año (90 días por ciclo y 8 plantas·m²).

Por otro lado, mantener las plántulas en contenedores por 60 días puede resultar en plantas con hojas y tallo delgados, mayor altura y presencia de flores, lo cual describe una plántula de mala calidad. Lo anterior debido a la competencia entre las plantas por luz, nutrientes y espacio para el desarrollo radicular. Una alternativa para evitar plantas de mala calidad es el uso de retardadores de crecimiento, que son sustancias que inhiben la síntesis de giberelinas y acortan los entrenudos, lo cual reduce la altura de las plantas y su área foliar (Jankiewicz, 2003; Rademacher, 2000; Ramírez et al., 2005; Ugur & Kavak, 2007).

Con el uso de retardadores de crecimiento se busca obtener plantas compactas, de porte bajo, con tallos gruesos y hojas vigorosas, características deseadas en la producción de plántulas de jitomate de alta calidad. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue producir plantas de jitomate en semillero con calidad suficiente para su cultivo intensivo en invernadero, esto mediante reguladores de crecimiento vegetal.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo durante el ciclo otoño-invierno en un invernadero tipo capilla, con estructura metálica y cubierta de polietileno (75 % de transmisión de luz), ubicado a 19° 20' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y a 2,250 m s. n. m. en Chapingo, Estado de México.

La siembra se realizó en charolas de poliestireno de 60 cavidades con volumen de 170 mL. El sustrato utilizado fue una mezcla de turba con perlita en proporción 2:1 (v/v). Se depositaron dos semillas por cavidad; una vez emergidas, se eliminó una plántula para que todas las cavidades presentarán sólo una antes de la aplicación de los tratamientos. Como material vegetal, se empleó el híbrido DRD 8537 conocido como "Martino 37" (Seminis, San Luis Misuri, EUA), con fruto tipo bola y hábito de crecimiento determinado, que llega a formar hasta cinco racimos.

Se probaron tres retardadores de crecimiento: Uniconazol (Sumagic®, Valent, Chile), Paclobutrazol (Cultar® 25 SC, Syngenta, Suiza) y Propiconazol (Tilt®, Syngenta, Suiza), con dos niveles de aplicación (primer nivel: una aplicación a los 25 días después de la siembra [dds], segundo nivel: aplicaciones a los 25 y 50 dds) y dos dosis de aplicación de cada producto (baja y alta; factor anidado en productos puesto que las dosis fueron distintas en cada caso). Además, se utilizó un testigo absoluto sin aplicaciones, lo cual resultó en 13 tratamientos (Cuadro 1).

Table 1. Treatments with the three growth retardants, two application periods and two application doses in tomato seedlings.**Cuadro 1. Tratamientos generados con los tres retardadores de crecimiento, dos periodos de aplicación y dos dosis de aplicación en plántulas de jitomate.**

Treatment/ Tratamiento	Retardant/ Retardador	Active ingredient/ Ingrediente activo	Application period (das)/ Periodo de aplicación (dds)	AI doses (mg·L ⁻¹)/ Dosis de IA (mg·L ⁻¹)
1	Sumagic®	Uniconazole/ Uniconazol	25	2.5
2	Sumagic®	Uniconazole/ Uniconazol	25	3
3	Sumagic®	Uniconazole/ Uniconazol	25, 50	2.5
4	Sumagic®	Uniconazole/ Uniconazol	25, 50	3
5	Cultar 25sc®	Paclobutrazole/ Paclobutrazol	25	25
6	Cultar 25sc®	Paclobutrazole/ Paclobutrazol	25	50
7	Cultar 25sc®	Paclobutrazole/ Paclobutrazol	25, 50	25
8	Cultar 25sc®	Paclobutrazole/ Paclobutrazol	25, 50	50
9	Tilt 250sc®	Propiconazole/ Propiconazol	25	50
10	Tilt 250sc®	Propiconazole/ Propiconazol	25	100
11	Tilt 250sc®	Propiconazole/ Propiconazol	25, 50	50
12	Tilt 250sc®	Propiconazole/ Propiconazol	25, 50	100
13	No application/ Sin aplicación	No application/ Sin aplicación	No application/ Sin aplicación	No application/ Sin aplicación

das = days after sowing; AI = active ingredient.

dds = días después de la siembra; IA = ingrediente activo.

sprays in each case. Solution doses of 10 and 18 mL were used per container in the first and second applications, respectively. Manual atomizers of 1 L capacity were used for spraying, one for each product.

Variables evaluated

Five plants were taken from the center of the EU per treatment in order to quantify the response variables.

Plant height (PH, cm). It was measured from the stem's base to the growth apex at 31, 49 and 66 das.

Stem diameter (SD, mm). It was measured with a digital Vernier (model 14388, Truper®, China) 1 cm above the cotyledon leaves at 31, 49 and 66 das.

Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (3x2x2) y cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) fueron 15 plántulas, por lo que se utilizó una charola completa para las cuatro repeticiones. Los retardadores se aplicaron mediante aspersiones foliares hasta cubrir por completo el follaje de las plantas, con el mismo número de atomizaciones en cada caso. Se utilizaron 10 y 18 mL de solución por contenedor en la primera y segunda aplicación, respectivamente. Para asperjar se usaron atomizadores manuales de 1 L de capacidad, uno para cada producto.

Variables evaluadas

Para cuantificar las variables respuesta se tomaron cinco plantas del centro de la UE por tratamiento.

Number of leaves (NL). Leaves present at 31, 49 and 66 das were counted. Only well-formed leaves were considered, that is, those with leaf lamina and visible leaflets.

Leaf area (LA, cm²). Leaves with the petiole were placed in a leaf area meter (LI 3100, Li-Cor®, USA). This variable was determined only at 66 das, by destructive sampling.

Fresh weight (FW, g). At 66 das, five plants were taken from each EU, the substrate was removed with water, the excess water was drained off and the plants were weighed on a balance (Pioneer, Ohaus®, USA) with 0.01 g accuracy.

Dry matter (DM, g). The same five plants used for FW were placed in paper bags and taken to a drying oven (FE-291, Felisa®, Mexico) where they remained at 65 °C until constant weight. Afterwards, they were weighed on the abovementioned balance.

Statistical analysis

An analysis of variance was carried out with the data obtained in each sampling (31, 49 and 66 das). Additionally, Tukey's comparison of means ($P \leq 0.05$) was carried out in two ways: a) with a factorial arrangement without considering the control to identify the best retardant product, dose and number of applications, and b) with a completely randomized design that included the absolute control, in order to obtain the best treatment or treatments with respect to the control. The SAS statistical package version 9.1.3 (SAS Institute, 2003) was used for this purpose.

Results and discussion

The statistical analysis showed that at 31 das there was a significant difference ($P \leq 0.05$) in SD and a highly significant difference ($P \leq 0.01$) in PH, while no differences were observed in NL. In the following evaluations (at 49 and 66 das), all these variables presented highly significant differences, except for NL at 66 das, which was only significant (Table 2).

The comparison of means with factorial arrangement indicated that, for the retardant factor, Paclobutrazol had lower values ($P \leq 0.05$) than Propiconazole in the variables evaluated at three times (31, 49 and 66 das), except for NL, where values were similar (Table 3). In the number of applications factor, a single application was sufficient to retard seedling development for two months; only PH was affected at 31 and 49 das, although in both cases only the first application had been carried out. No significant differences were found at 66 das in the variables evaluated, except for NL and SD, although NL was the same at the end of the seedbed

Altura de planta (ALT, cm). Medida desde la base del tallo hasta el ápice de crecimiento a los 31, 49 y 66 dds.

Diámetro del tallo (DT, mm). Se midió con un vernier digital (modelo 14388, Truper®, China) 1 cm arriba de las hojas cotiledóneas a los 31, 49 y 66 dds.

Número de hojas (NH). Se contaron las hojas presentes a los 31, 49 y 66 dds. Se consideró una hoja aquella que estuviera bien formada, con lámina foliar y foliolos visibles.

Área foliar (AF, cm²). Las hojas con el peciolo se colocaron en un integrador de área foliar (LI 3100, Li-Cor®, EUA). Esta variable se determinó únicamente a los 66 dds mediante muestreo destructivo.

Peso fresco (PF, g). A los 66 dds, se sacaron cinco plantas de cada UE, se eliminó el sustrato con agua, se escurrió el exceso de ésta y se pesaron en una balanza (Pioneer, Ohaus®, EUA) con precisión de 0.01 g.

Materia seca (MS, g). Las mismas cinco plantas usadas para el PF se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a una estufa de secado (FE-291, Felisa®, México) a 65 °C hasta obtener el peso constante, después se pesaron en la misma balanza.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza en cada muestreo (31, 49 y 66 dds). Además, se efectuaron pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) de dos formas: a) con arreglo factorial sin considerar el testigo para identificar el mejor producto retardador, dosis y número de aplicaciones, y b) bajo el diseño completamente al azar con inclusión del testigo absoluto, esto con el fin de obtener el o los mejores tratamientos en relación con el testigo. Para lo anterior se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Institute, 2003).

Resultados y discusión

Después del análisis estadístico, se observó que a los 31 dds hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en la variable DT y diferencia altamente significativa ($P \leq 0.01$) en ALT, mientras que en el NH no se observaron diferencias. En las siguientes evaluaciones (a los 49 y 66 dds), de estas mismas variables, todas presentaron diferencia altamente significativa, excepto el NH a los 66 dds que únicamente resultó significativa (Cuadro 2).

La comparación de medias con arreglo factorial indicó que, para el factor retardador, el Paclobutrazol presentó valores menores ($P \leq 0.05$) que el Propiconazol en las variables evaluadas en tres momentos (31, 49 y 66 dds),

Table 2. Mean squares of analysis of variance of tomato seedling growth variables evaluated at 31, 49 and 66 days after sowing (das).**Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza de las variables de crecimiento de plantas de jitomate evaluadas a los 31, 49 y 66 días después de la siembra (dds).**

SV/FV	PH (cm)/ ALT (cm)	NL/ NH	SD (mm)/ DT (mm)	PH (cm)/ ALT (cm)	NL/ NH	SD (mm)/ DT (mm)	PH (cm)/ ALT (cm)	NL/ NH	SD (mm)/ DT (mm)	FW (g)/ PF (g)	LA (cm ²)/ AF (cm ²)	DM (g)/ MS (g)
	31 das/31 dds			49 das/49 dds			66 das/66 dds					
Treat/Trat	3.08**	0.00	1.23*	58.00**	0.58**	0.01**	77.84**	0.50*	0.31**	53.34**	9406.31*	0.74**
Error	0.43	0.00	0.31	1.94	0.10	0.11	3.17	0.20	0.05	3.42	311.72	0.06
CV	10.00	0.00	17.79	8.04	7.49	6.50	8.09	6.60	4.02	9.00	10.74	9.20
Mean/Med	6.54	2.00	3.13	17.32	4.25	5.16	22.02	6.75	5.29	20.53	164.41	2.76

SV = Source of variation; Treat = treatment; CV = coefficient of variation (%); Mean = arithmetic mean; PH = plant height; NL = number of leaves; SD = stem diameter; FW = fresh weight; LA = leaf area; DM = dry matter. **, * = $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$, respectively.

FV = fuente de variación; Trat = tratamiento; CV = coeficiente de variación (%); Med = media aritmética; ALT = altura de plántula; NH = número de hojas; DT = diámetro de tallo; PF = peso fresco; AF = área foliar; MS = materia seca. **, * = $P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$, respectivamente.

Table 3. Comparison of means of the factors growth retardant, number of applications and dose on the growth variables of tomato seedlings evaluated at 31, 49 and 66 days after sowing (das).**Cuadro 3. Comparación de medias de los factores retardador de crecimiento, número de aplicaciones y dosis sobre las variables de crecimiento de plántulas de jitomate evaluadas a los 31, 49 y 66 días después de la siembra (dds).**

Factor	PH (cm)/ ALT (cm)	NL/ NH	SD (mm)/ DT (mm)	PH (cm)/ ALT (cm)	NL/ NH	SD (mm)/ DT (mm)	PH (cm)/ ALT (cm)	NL/ NH	SD (mm)/ DT (mm)	FW (g)/ PF (g)	LA (cm ²)/ AF (cm ²)	DM (g)/ MS (g)
	31 das/31 dds			49 das/49 dds			66 das/66 dds					
Retardant/Retardador												
Uniconazole / Uniconazol	6.06 b ^z	2.00 a	3.41 a	15.53 b	4.00 b	5.00 b	20.21 b	6.88 a	5.10 b	19.48 b	143.67 b	2.76 b
Paclobutrazol/ Paclobutrazol	6.16 b	2.00 a	2.66 b	13.75 c	3.94 b	4.80 b	17.73 c	6.50 a	5.20 b	16.72 c	117.89 c	2.26 c
Propiconazole/ Propiconazol	7.08 a	2.00 a	3.33 a	21.49 a	4.75 a	5.80 a	26.11 a	6.81 a	5.56 a	24.73 a	218.71 a	3.17 a
HSD/DMSH	0.59	0	0.50	1.23	0.28	0.30	1.59	0.40	0.18	1.61	15.67	0.23
Applications /Aplicaciones												
One/Una	6.19 b	2.00 a	2.97 a	16.28 b	4.21 a	5.26 a	21.48 a	6.88 a	5.20 b	20.45 a	163.93 a	2.77 a
Two/Dos	6.68 a	2.00 a	3.30 a	17.57 a	4.25 a	5.15 a	21.22 a	6.58 b	5.37 a	20.17 a	156.25 a	2.69 a
HSD/DMSH	0.40	0.00	0.34	0.83	0.19	0.20	1.07	0.27	0.12	1.09	10.62	0.15
Doses/Dosis												
Low/Baja	6.74 a	2.00 a	3.06 a	17.37 a	4.25 a	5.24 a	22.05 a	6.62 a	5.26 a	20.57 ^a	170.02 a	2.75 a
High/Alta	6.12 b	2.00 a	3.20 a	16.47 b	4.20 a	5.16 a	20.64 b	6.83 a	5.30 ^a	20.04 a	150.14 b	2.70 a
HSD/DMSH	0.39	0.00	0.39	0.83	0.18	0.20	1.07	0.27	0.11	1.09	10.61	0.15

PH = plant height; NL = number of leaves; SD = stem diameter; FW = fresh weight; LA = leaf area; DM = dry matter; HSD = honestly significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

ALT = altura de plántula; NH = número de hojas; DT: diámetro de tallo; PF = peso fresco; AF = área foliar; MS = materia seca; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^aMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

period (seven leaves per plant), whereas for SD, two applications allowed this parameter to be significantly higher (Table 3).

In the dose factor, significant differences ($P \leq 0.05$) were found in PH and LA; in both cases, the high dose reduced them. The variables NL, SD, FW and DM were not affected by doses applied at 66 das (Table 3).

Seedling height

According to the factorial mean test, when analyzing the effect of the retardants at the three times evaluated, it was observed that the seedlings with the lowest height at 31 das were those sprayed with Uniconazole, although they were statistically equal to those sprayed with Paclobutrazol. In contrast, Paclobutrazol was the product that decreased PH the most at 49 and 66 das, while Propiconazole affected height the least on the three dates evaluated (Table 3). According to Zandstra, Dick and Lang (2004), within the triazol group, Propiconazole is less active than Uniconazole and Paclobutrazol, which coincides with what was observed in this study. The physiological effect of triazoles in reducing PH is due to the inhibition of gibberellin synthesis (Jankiewicz, 2003), which has been observed in several plants: Paclobutrazol in tomato (Ramos-Fernández et al., 2021), eggplant, bell pepper (Partida-Ruvalcaba et al., 2007), chili (Velázquez-Alcaraz, Partida-Ruvalcaba, Acosta-Villegas, & Ayala-Tafoya, 2008), and arabidopsis and maize (Hartwig et al., 2012), as well as Paclobutrazol and Uniconazole in potato (Flores-López et al., 2011; Flores-López, Martínez-Gutiérrez, López-Delgado, & Marín-Casimiro, 2016) and kalanchoe (Currey & Erwin, 2012).

When comparing means at 66 das, with the inclusion of the control (Table 4), it was observed that the plants treated with a growth retardant were shorter than the control plants (T13, without application). The maximum reduction in height was achieved when 50 mg·L⁻¹ Paclobutrazol was applied at 25 das (T6). In this case, the height reduction was 13.15 cm; that is, 44 % less than the control treatment.

The treatment that least affected PH was 50 mg·L⁻¹ (T11) Propiconazole applied at 25 and 50 das, which resulted in a height 8.76 % lower than the plants without application, although it statistically exceeded the control (Table 4). This agrees with Zandstra et al. (2004), who observed that Propiconazole is less active than Paclobutrazol and should be used at higher doses. Berova and Zlatev (2000) reported a 16-20 % reduction in tomato seedling height with a 25 mg·L⁻¹ Paclobutrazol foliar application. Similarly, Campos-de Melo, Seleguini, and Santos-Veloso (2014, 2015) observed a

excepto en el NH, donde el valor fue similar (Cuadro 3). En el factor número de aplicaciones, una sola aplicación fue suficiente para retardar el desarrollo de las plántulas durante dos meses, únicamente la ALT se vio afectada a los 31 y 49 dds, aunque en ambos casos solo se había realizado la primera aplicación. No se encontraron diferencias significativas a los 66 dds en las variables evaluadas, excepto para NH y DT, aunque el NH fue igual al finalizar el periodo en almacigo (siete hojas por planta); en tanto que, para el DT, dos aplicaciones permitieron que este parámetro fuera significativamente mayor (Cuadro 3).

En el factor dosis, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las variables ALT y AF; en ambos casos, la dosis alta las redujo. Por su parte, las variables NH, DT, PF y MS no fueron afectadas por las dosis aplicadas a los 66 dds (Cuadro 3).

Altura de plántula

De acuerdo con la prueba de medias factorial, al analizar el efecto de los retardadores en los tres momentos evaluados se observó que las plántulas con menor altura a los 31 dds fueron las asperjadas con Uniconazol, aunque resultaron estadísticamente iguales a las asperjadas con Paclobutrazol. En contraste, el Paclobutrazol fue el producto que más disminuyó la ALT a los 49 y 66 dds, mientras que el Propiconazol afectó menos la altura en las tres fechas evaluadas (Cuadro 3). De acuerdo con Zandstra, Dick y Lang (2004), dentro del grupo de los triazoles, el Propiconazol es menos activo que el Uniconazol y el Paclobutrazol, lo cual coincide con lo observado en el presente estudio. El efecto fisiológico de los triazoles en la reducción de la ALT es debido a la inhibición de la síntesis de giberelinas (Jankiewicz, 2003), lo cual se ha observado en diversas plantas: Paclobutrazol en jitomate (Ramos-Fernández et al., 2021), berenjena, pimiento (Partida-Ruvalcaba et al., 2007), chile (Velázquez-Alcaraz, Partida-Ruvalcaba, Acosta-Villegas, & Ayala-Tafoya, 2008), arabidopsis y maíz (Hartwig et al., 2012), así como Paclobutrazol y Uniconazol en papa (Flores-López et al., 2011; Flores-López, Martínez-Gutiérrez, López-Delgado, & Marín-Casimiro, 2016) y kalanchoe (Currey & Erwin, 2012).

Al comparar las medias a los 66 dds, con la inclusión del testigo (Cuadro 4), se observó que las plantas tratadas con algún retardador de crecimiento presentaron menor altura que las plantas testigo (T13, sin aplicación). La máxima reducción de altura se logró cuando se aplicaron 50 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol a los 25 dds (T6). En este caso, la reducción en la altura fue de 13.15 cm; es decir, 44 % menor que el tratamiento testigo.

El tratamiento que menos afectó la ALT fue el Propiconazol aplicado a los 25 y 50 dds con dosis de

Table 4. Comparison of means of the effect of growth retardants on tomato seedlings at 66 days after sowing.**Cuadro 4. Comparación de medias del efecto de retardadores de crecimiento en plántulas de jitomate a los 66 días después de la siembra.**

Treatment, active ingredient, period, doses (mg·L ⁻¹) / Tratamiento, ingrediente activo, periodo, dosis (mg·L ⁻¹)	PH (cm) / ALT (cm)	NL / NH	SD (mm) / DT (mm)	FW (g) / PF (g)	LA (cm ²) / AF (cm ²)	DM (g) / MS (g)
T1, UCZ, 25, 2.5	19.60 def ^z	7.00 ab	5.09 defg	18.23 de	131.11 fgh	2.68 bc
T2, UCZ, 25, 3.0	19.95 de	7.00 ab	4.90 g	18.87 d	137.50 fg	2.72 bc
T3, UCZ, 25 and 50, 2.5	22.04 cd	6.50 bc	5.41 bc	21.97 c	168.58 de	3.10 a
T4, UCZ, 25 and 50, 3.0	19.27 efg	7.00 ab	4.98 fg	18.87 d	137.50 fg	2.55 cd
T5, PBZ, 25, 25	19.16 efg	6.50 bc	5.21 cdef	18.73 d	144.26 ef	2.42 cd
T6, PBZ, 25, 50	16.88 g	7.00 ab	5.01 efg	15.51 f	98.72 i	2.24 de
T7, PBZ, 25 and 50, 25	17.32 fg	6.00 c	5.16 cdefg	15.61 f	117.20 ghi	1.94 e
T8, PBZ, 25 and 50, 50	17.56 efg	6.50 bc	5.42 bc	17.04 def	111.37 hi	2.42 cd
T9, PCZ, 25, 50	26.82 b	7.25 a	5.35 bcd	25.01 ab	245.23 a	3.23 a
T10, PCZ, 25, 100	26.50 b	6.50 bc	5.65 ab	26.37 a	226.76 ab	3.31 a
T11, PCZ, 25 and 50, 50	27.40 b	6.50 bc	5.37 bcd	23.92 abc	213.79 bc	3.14 a
T12, PCZ, 25 and 50, 100	23.74 c	7.00 ab	5.89 a	23.62 bc	189.05 cd	2.99 ab
T13, Control / T13, Testigo	30.03 a	7.00 ab	5.30 cde	23.22 bc	216.24 b	3.17 a
HSD / DMSH	2.55	0.64	0.30	2.64	25.25	0.36

UCZ = Uniconazole; PBZ = Paclobutrazol; PCZ = Propiconazole; PH = plant height; NL = number of leaves; SD = stem diameter; FW = fresh weight; LA = leaf area; DM = dry matter; HSD = honestly significant difference. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

UCZ = Uniconazol; PBZ = Paclobutrazol; PCZ = Propiconazol; ALT = altura de plántula; NH = número de hojas; DT = diámetro de tallo; PF = peso fresco; AF = área foliar; MS = materia seca; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

24 and 25 % reduction in tomato seedling height when seeds were treated with 115.4 and 50 mg·L⁻¹ Paclobutrazol, respectively.

If the ideal height is considered to be 20 to 25 cm, since plants are compact when they are two months old, treatments with Paclobutrazol and Uniconazole (T1 to T8) and Propiconazole with two applications and a high dose (T12) are the most appropriate. The other Propiconazole treatments (T9 to T11) did not reduce height to less than 25 cm.

Number of leaves

The use of retardants can affect the emergence period of leaves, but not their number, as occurred at 49 das (Table 3); this can be explained by the fact that this trait is defined by the genotype. Jankiewicz (2003) reports that growth retardants have no influence on the NL of treated plants.

According to the mean comparison test, at 66 das the plants with the lowest NL (6 leaves) were those treated with 25 mg·L⁻¹ Paclobutrazol applied at 25 and 50 das (T7), which implies a 14.28 % reduction with respect to the control. The rest of the treatments showed the same NH as the treatment without application (Table 4). In

50 mg·L⁻¹ (T11), cuya altura fue 8.76 % menor que las plantas sin aplicación, aunque estadísticamente superó al testigo (Cuadro 4). Lo anterior concuerda con Zandstra et al. (2004), quienes observaron que el Propiconazol es menos activo que el Paclobutrazol, y debe ser utilizado en dosis más alta. Berova y Zlatev (2000) notaron una reducción entre 16 y 20 % en la altura de plántula en jitomate con la aplicación foliar de 25 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol. Asimismo, Campos-de Melo, Seleguini, y Santos-Veloso (2014, 2015) observaron una reducción de 24 y 25 % en la altura de las plántulas de jitomate cuando la semilla fue tratada con 115.4 y 50 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol, respectivamente.

Si se considera como la altura ideal de 20 a 25 cm, por tratarse de plantas compactas a los dos meses de edad, los tratamientos con Paclobutrazol y Uniconazol (T1 al T8), y el de Propiconazol con dos aplicaciones y dosis alta (T12), son los más adecuados. Los otros tratamientos de Propiconazol (T9 al T11) no redujeron la altura a menos de 25 cm.

Número de hojas

El uso de retardadores puede afectar el periodo de aparición de las hojas, no así en su número, como ocurrió a los 49 dds (Cuadro 3); esto se puede explicar

this regard, Flores-López et al. (2011) found a reduction in NL (3 and 4) in potato 45 days after applying 20 and 40 mg·L⁻¹ Uniconazole, and when they applied 200 and 250 mg·L⁻¹ Paclobutrazol they observed a reduction of 3 and 6 leaves, respectively.

The NL in a plant is very important, since leaves, being the photosynthetic organs, are the main light receptors, so their number and size influence the efficiency of sunlight capture. This influences the overall development of the plant and, as a result, its yield, hence the importance of the number of leaves present (Reis, de Azevedo, Albuquerque, & Junior, 2013). However, in this study the use of growth retardants had no significant effect on NL, except for treatment T7 (Table 4).

Stem diameter

Growth retardants affected SD. Seedlings treated with Propiconazole had a larger SD than those sprayed with Paclobutrazol on the three sampling dates. On the other hand, the performance of plants treated with Uniconazole varied among sampling dates (Table 3). Jankiewicz (2003) states that growth retardants induce the formation of thicker stems compared to untreated plants. Ferreira et al. (2017) found that tomato SD increased 17 and 11 % at 15 and 30 days after spraying the foliage with 42.5 mg·L⁻¹ Paclobutrazol 10 das.

In the mean comparison test, considering the control, it was observed that plants that received two applications of Propiconazole (at 25 and 50 das), with doses of 100 mg·L⁻¹ (T12), had the largest SD (5.89 mm); however, these plants did not differ statistically from those treated with only one application of the same product and dose (T10; 5.65 mm), which indicates that one application may be sufficient. In both cases, SD was higher than that of the plants with no application (5.30 mm). On the other hand, plants treated with 3 mg·L⁻¹ Uniconazole at 25 das (T2), as well as those that received two applications of Uniconazole with the same dose (T4), had the smallest SD (4.90 and 4.98 cm, respectively), statistically lower than the control (T13) (Table 4). Ferreira et al. (2017) found that tomato SD increased 17 % after transplanting in plants treated with 42.5 mg·L⁻¹ Paclobutrazol applied 10 das; this is an additional trait conferred by the use of triazoles (Jankiewicz, 2003).

In general, with the exception of the two Uniconazole treatments mentioned above, SD reached more than 5 mm, which is appropriate for the tomato seedling. This is because the greater the diameter and the lower the height, the possibility that the plant will flatten or bend after transplanting is reduced. Therefore, although the control had more than 5 mm in diameter, the

debido a que dicha característica es definida por el genotipo. Jankiewicz (2003) señala que los retardadores de crecimiento no tienen influencia en el NH de las plantas tratadas.

De acuerdo con la prueba de comparación de medias, a los 66 dds las plantas con menor NH (6 hojas) fueron las del tratamiento con 25 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol aplicado a los 25 y 50 dds (T7), lo que implica una reducción de 14.28 % con respecto al testigo. El resto de los tratamientos presentaron el mismo NH que el tratamiento sin aplicación (Cuadro 4). Al respecto, Flores-López et al. (2011) encontraron una reducción en el NH (3 y 4) en papa 45 días después de aplicar 20 y 40 mg·L⁻¹ de Uniconazol, y cuando aplicaron 200 y 250 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol observaron una reducción de 3 y 6 hojas, respectivamente.

El NH que presenta una planta es muy importante, ya que éstas, al ser los órganos fotosintéticos, son las principales receptoras de luz, por lo que el número y su tamaño influyen en la eficiencia de captación de la luz solar. Esto influye en el desarrollo general de la planta y, en consecuencia, en su rendimiento, de ahí la importancia de la cantidad de hojas presente (Reis, de Azevedo, Albuquerque, & Junior, 2013). No obstante, en el presente estudio, el uso de retardadores de crecimiento no tuvo efecto significativo en el NH, a excepción del tratamiento T7 (Cuadro 4).

Diámetro de tallo

El DT resultó afectado por los retardadores de crecimiento. Las plántulas tratadas con Propiconazol presentaron mayor DT que las asperjadas con Paclobutrazol en las tres fechas de muestreo. Por su parte, el comportamiento de las plantas tratadas con Uniconazol varió entre fechas de muestreo (Cuadro 3). Jankiewicz (2003) señala que los retardadores de crecimiento inducen la formación de tallos más gruesos con respecto a las plantas no tratadas. Ferreira et al. (2017) encontraron que el DT del jitomate aumentó 17 y 11 % a los 15 y 30 días después de asperjar el follaje con 42.5 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol 10 dds.

En la prueba de comparación de medias, considerando el testigo, se observó que las plantas que recibieron dos aplicaciones de Propiconazol (a los 25 y 50 dds), con dosis de 100 mg·L⁻¹ (T12), presentaron el mayor DT (5.89 mm), aunque no difirieron estadísticamente del tratamiento con sólo una aplicación del mismo producto y dosis (T10; 5.65 mm), lo cual indica que una aplicación puede ser suficiente. En ambos casos, el DT fue superior al de las plantas sin aplicación (5.30 mm). Por otro lado, las plantas tratadas con 3 mg·L⁻¹ de Uniconazol a los 25 dds (T2), así como las que recibieron dos aplicaciones de Uniconazol con la misma

height it developed was not adequate for transplanting. Similarly, Berova and Zlatev (2000) observed that foliar application of Paclobutrazol, at a 25 mg·L⁻¹ dose, caused an increase in stem thickness and root development, improved photosynthetic activity and water balance (and thus the quality of seedlings for transplanting), and accelerated the formation and harvest of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Precador, without leaving Paclobutrazol residues in the fruit.

Fresh weight, leaf area, and dry matter

The retardants affected FW, LA and DM of seedlings at 66 das (Table 3), with Paclobutrazol achieving the greatest reduction in all three variables ($P \leq 0.05$), followed by Uniconazole and Propiconazole. This shows that Propiconazole is the least active (Zandstra et al., 2004). Flores-López et al. (2011) observed a 32 and 46 % reduction in leaf area index of potato at 45 days after applying 40 and 250 mg·L⁻¹ of Uniconazole and Paclobutrazol, respectively, which allowed inferring the greater effect of Paclobutrazol.

When considering the control (Table 4), the comparison of means indicated that the highest FW was achieved with Propiconazole in a single 100 mg·L⁻¹ application (T10) and two 50 mg·L⁻¹ applications (T9) (at 25 and 50 das), with values of 26.37 and 25.01 g, respectively. These values exceeded the control by 14 and 8 %. On the other hand, the lowest FW was obtained with a 50 mg·L⁻¹ application of Paclobutrazol at 25 das (T6), and with two 25 mg·L⁻¹ applications (at 25 and 50 das) (T7); that is, both had 33 % less weight than the control. Treatments based on Uniconazole, in any of its doses and application times, also decreased FW at 66 das by 5 to 21 % compared to the control. In this regard, Partida-Ruvalcaba et al. (2007) observed that the application of 150 mg·L⁻¹ Paclobutrazol increased the FW of the aerial part and root of bell pepper and eggplant.

Regarding LA, the mean comparison test (Table 4) indicated that the treatment with an application of Paclobutrazol at 25 das, with a dose of 50 mg·L⁻¹ (T6), was statistically inferior to the control by 55 %. In general, the treatments with Paclobutrazol and Uniconazole reduced LA by between 22 and 55 % compared to the treatment without application, contrary to what was observed with Propiconazole, with which values equal to or greater than the control were obtained; that is, with this retardant no effect on LA was observed, with the exception of T12, which reduced it by 12 %. Flores-López et al. (2011) report that foliar applications of 250 and 40 mg·L⁻¹ Paclobutrazol and Uniconazole decreased the LA index by 46 and 32 %, respectively, in potato 45 days after application.

dosis (T4), presentaron el menor DT (4.90 y 4.98 cm, respectivamente), inferior estadísticamente al testigo (T13) (Cuadro 4). Ferreira et al. (2017) encontraron que el DT del jitomate incrementó 17 % después del trasplante en plantas tratadas con 42.5 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol aplicado 10 dds; una característica más que confiere el uso de los triazoles (Jankiewicz, 2003).

En general, con excepción de los dos tratamientos de Uniconazol antes mencionados, el DT alcanzó más de 5 mm, lo que es conveniente para la plántula de jitomate. Lo anterior debido a que a mayor diámetro y menor altura la posibilidad de que la planta se acame o se doble después del trasplante se reduce. Por ello, a pesar de que el testigo tuvo más de 5 mm de diámetro, la altura que desarrolló no fue adecuada para el trasplante. En el mismo sentido, Berova y Zlatev (2000) observaron que la aplicación foliar de Paclobutrazol, con dosis de 25 mg·L⁻¹, provocó aumento en el grosor del tallo y el desarrollo de raíces, mejoró la actividad fotosintética y el balance hídrico (con ello la calidad de plántulas para trasplante), y aceleró la formación y cosecha de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Precador, sin dejar residuos de Paclobutrazol en los frutos.

Peso fresco, área foliar y materia seca

Los retardadores afectaron el PF, el AF y la MS de las plántulas a los 66 dds (Cuadro 3), siendo el Paclobutrazol el que logró mayor reducción en las tres variables ($P \leq 0.05$), seguido del Uniconazol y el Propiconazol. Esto demuestra que el Propiconazol es el menos activo (Zandstra et al., 2004). Flores-López et al. (2011) observaron una reducción de 32 y 46 % en el índice de área foliar del cultivo de papa a los 45 días después de aplicar 40 y 250 mg·L⁻¹ de Uniconazol y Paclobutrazol, respectivamente, lo cual permitió inferir el efecto mayor del Paclobutrazol.

Al considerar el testigo (Cuadro 4), la comparación de medias indicó que el mayor PF se alcanzó con una aplicación de 100 mg·L⁻¹ de Propiconazol (T10) y dos aplicaciones (a los 25 y 50 dds) de 50 mg·L⁻¹ (T9), con valores de 26.37 y 25.01 g, respectivamente. Estos valores superaron al testigo en 14 y 8 %. Por su parte, el menor PF se obtuvo con una aplicación de 50 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol a los 25 dds (T6) y con dos aplicaciones (a los 25 y 50 dds) de 25 mg·L⁻¹ (T7); es decir, ambos tuvieron 33 % menos peso que el testigo. Los tratamientos basados en Uniconazol, en cualquiera de sus dosis y momentos de aplicación, también disminuyeron el PF a los 66 dds de 5 a 21 % en comparación con el testigo. Al respecto, Partida-Ruvalcaba et al. (2007) observaron que la aplicación de 150 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol incrementó el PF de la parte aérea y de la raíz en pimiento morrón y berenjena.

The highest DM content was obtained with Propiconazole-based treatments, which were similar to the control and to the 2.5 mg·L⁻¹ application of Uniconazole at 25 and 50 das (T3). On the other hand, the lowest DM content was obtained with the spraying of 25 mg·L⁻¹ Paclobutrazol at 25 and 50 das and 50 mg·L⁻¹ at 25 das (T7 and T6, respectively). It is important to emphasize that this variable is positively correlated with PH, FW and LA (data not shown), implying that the effect of retardants is similar in all cases. Similar results were reported by Nascimento, Salvalagio and Silva (2003) in tomato seedlings, where 200 mg·L⁻¹ Paclobutrazol decreased the height and dry weight of the aerial part and roots, in relation to the treatments with Etephon and without application. In contrast, Partida-Ruvalcaba et al. (2007) observed an increase in the FW of the aerial part and root of bell pepper and eggplant with the application of 150 mg·L⁻¹ Paclobutrazol.

In general, it was observed that Paclobutrazol was the retardant that had the best response according to the objectives set and the type of seedling desired, due to the reduction in PH and LA, which translates into more compact seedlings. The use of Uniconazole could be a second option, and Propiconazole, with higher doses, could also be used, since it increased SD and induced a less intense green coloration and a lower degree of leaf curl than the other products (traits not evaluated), this in spite of not having greatly reduced the PH and LA of the seedlings with respect to the control.

Conclusions

The use of growth retardants (Uniconazole, Paclobutrazol and Propiconazole) had a significant effect on height, stem diameter, number of leaves, leaf area, fresh weight and dry matter in tomato seedlings. The number of applications did not significantly impact seedling traits, so one application is sufficient to induce the effect of retardants at this phenological stage. High doses caused a greater response in the variables evaluated. Paclobutrazol generated tomato seedlings with the best traits for use in late transplanting, followed by Uniconazole and Propiconazole.

End of English version

References / Referencias

- Berova, M., & Zlatev, Z. (2000). Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Regulation*, 30, 117-123. doi: 10.1023/A:1006300326975
- Campos-de Melo, A. P., Seleguini, A., & Santos-Veloso, V. (2014). Peliculização de sementes de tomate associada ao

En el AF, la prueba de comparación de medias (Cuadro 4) indicó que el tratamiento con una aplicación de Paclobutrazol a los 25 dds, con dosis de 50 mg·L⁻¹ (T6), fue estadísticamente inferior al testigo en un 55 %. En general, los tratamientos con Paclobutrazol y Uniconazol redujeron el AF entre 22 y 55 % en comparación con el tratamiento sin aplicación, contrario a lo observado con Propiconazol, con el cual se obtuvieron valores iguales o superiores al testigo; es decir, con este retardador no se observó efecto sobre el AF, con excepción del T12 que redujo 12 %. Flores-López et al. (2011) señalan que aplicaciones foliares con 250 y 40 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol y Uniconazol disminuyen el índice de AF 46 y 32 %, respectivamente, en el cultivo de papa 45 días después de la aplicación.

El mayor contenido de MS se alcanzó con los tratamientos donde se aplicó Propiconazol, los cuales fueron similares al testigo y a la aplicación de 2.5 mg·L⁻¹ de Uniconazol a los 25 y 50 dds (T3). Por otro lado, el menor contenido de MS se obtuvo con la aspersión de 25 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol a los 25 y 50 dds y 50 mg·L⁻¹ a los 25 dds (T7 y T6, respectivamente). Es importante recalcar que esta variable está correlacionada positivamente con la ALT, el PF y el AF (datos no presentados), lo cual implica que el efecto de los retardadores es parecido en todos los casos. Resultados similares fueron reportados por Nascimento, Salvalagio y Silva (2003) en plántulas de jitomate, donde 200 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol disminuyeron la altura y el peso seco de la parte aérea y raíces, en relación con los tratamientos con Etefón y sin aplicación. En contraste, Partida-Ruvalcaba et al. (2007) observaron incremento en el PF de la parte aérea y de la raíz en pimiento morrón y berenjena con la aplicación de 150 mg·L⁻¹ de Paclobutrazol.

De manera general, se observó que el Paclobutrazol fue el retardador que tuvo mejor respuesta de acuerdo con los objetivos planteados y el tipo de plántula deseada, esto debido a la reducción en la ALT y el AF, lo que se traduce en plántulas más compactas. El uso del Uniconazol podría ser una segunda opción, y el Propiconazol, con dosis más elevadas, también podría ser utilizado, ya que incrementó el DT, indujo una coloración verde menos intensa y un menor grado de enchinamiento en las hojas que los otros productos (características no evaluadas); esto a pesar de no haber disminuido mucho la ALT y el AF de las plántulas con respecto al testigo.

Conclusiones

El uso de los retardadores de crecimiento (Uniconazol, Paclobutrazol y Propiconazol) tuvo efecto significativo sobre la altura, el diámetro de tallo, el número de hojas, el área foliar, el peso fresco y la materia seca

- paclobutrazol. *Bragantia*, 73(2), 123-129. doi: 10.1590/brag.2014.026
- Campos-Melo, A. P., Seleguini, A., & Santos-Velasco, V. (2015). Peliculação deve ser feita antes ou após a embebição de sementes de tomate com paclobutrazol? *Revista Agrarian*, 8(28), 210-215. Retrieved from <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2923>
- Currey, C. J., & Erwin, J. E. (2012). Foliar applications of plant growth regulators affect stem elongation and branching of 11 kalanchoe species. *Hortechonology*, 22(3), 338-344. doi: 10.21273/HORTTECH.22.3.338
- Ferreira, N., Vendruscolo, E., Seleguini, A., Dourado, W., Benett, C., & Nascimento, A. (2017). Crescimento, produção e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo adensado com uso de paclobutrazol. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11, 72-79. doi: 10.17584/rcch.2017v11i1.5690
- Flores-López, R., Sánchez-del Castillo, F., Rodríguez-Pérez, J. E., Mora-Aguilar, R., Colinas-León, M. T., & Lozoya-Saldaña, H. (2011). Paclobutrazol, uniconazol y cycocel en la producción de tubérculo-semilla de papa en cultivo hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(2), 173-182. doi: 10.5154/r.rchsh.2011.17.019
- Flores-López, R., Martínez-Gutiérrez, R., López-Delgado, H. A., & Marín-Casimiro, M. (2016). Aplicación periódica de bajas concentraciones de paclobutrazol y ácido salicílico en papa en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1143-1154. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n5/2007-0934-remexca-7-05-1143.pdf>
- Hartwig, T., Corvalan, C., Best, N. B., Budka, J. S., Zhu, J. Y., Choe, S., & Schulz, B. (2012). Propiconazole is a specific and accessible brassinosteroid (BR) biosynthesis inhibitor for arabidopsis and maize. *PLoS One*, 7(5), 1-10. doi: 10.1371/journal.pone.0036625
- Jankiewicz, L. S. (2003). *Reguladores de crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas: Propiedades y acción*. México: Mundi Prens.
- Nascimento, W. M., Salvalagio, R., & Silva, B. C. (2003). Condicionamento químico do crescimento de mudas de tomate. *Horticultura Brasileira*, 21, 1-3. Retrieved from <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/olfg4046c.pdf>
- Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. J., Acosta-Villegas, B., Ayala-Tafoya, F., Díaz-Valdés, T., Inzunza-Castro, J. F., & Cruz-Ortega, J. E. (2007). Paclobutrazol y crecimiento de raíz y parte aérea de plántulas de pimiento morrón y berenjena. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30(2), 145-149. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-2/5a.pdf>
- Ponce-Ocampo, J., Sánchez-del Castillo, F., Contreras-Magaña, E., & Corona-Sáez, T. (2000). Efecto de modificaciones al ambiente en la floración y fructificación de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Fitotecnica Mexicana*, 23, 87-97. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/610/61023109.pdf>
- en plántulas de jitomate. El número de aplicaciones no impactó de manera significativa las características de la plántula, por lo que una aplicación es suficiente para inducir el efecto de los retardadores en esta etapa fenológica. Las dosis altas ocasionaron una mayor respuesta en las variables evaluadas. El Paclobutrazol generó las plántulas de jitomate con las mejores características para ser usadas en trasplante tardío, seguido por el Uniconazol y el Propiconazol.

Fin de la versión en español

- Rademacher, W. (2000). Growth retardants: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 501-531. doi: 10.1146/annurev.arplant.51.1.501
- Ramírez, H., Peralta-Manjarrez, R. M., Benavidez-Mendoza, A., Sánchez-López, A., Robledo-Torres, V., & Hernández-Dávila, J. (2005). Efectos de prohexadiona-ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2), 283-290. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60911215>
- Ramos-Fernández, J., Ayala-Garay, O. J., Pérez-Grajales, M., Sánchez-del Castillo, F., & Magdaleno-Villar, J. J. (2021). Efecto del paclobutrazol sobre el crecimiento de la planta, rendimiento y calidad de fruto en tomate. *Revista BioAgro*, 33(1), 59-64. doi: 10.51372/bioagro33.1.8
- Reis, L. S., de Azevedo, C. A., Albuquerque, A. W., & Junior, J. F. (2013). Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(4), 386-391. doi: 10.1590/S1415-43662013000400005
- Sánchez-del Castillo, F., Bastida-Cañada, O. A., Moreno-Pérez, E. C., Contreras-Magaña, E., & Sahagún-Castellanos, J. (2014). Rendimiento de jitomate con diferentes métodos de cultivo hidropónico basados en doseles escaleriformes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 20(3), 239-252. doi: 10.5154/r.rchsh.2013.10.037
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., & Contreras-Magaña, E. (2012). Development of alternative crop systems for commercial production of vegetables in hydroponics – I: Tomato. *Acta Horticulturae*, 947, 179-187. doi: 10.17660/ActaHortic.2012.947.22
- Sánchez-del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. C., Vázquez-Rodríguez, J. C., & González-Núñez, M. A. (2017). Densidades de población y niveles de despunte para variedades contrastantes de jitomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 23(3), 163-174. doi: 10.5154/r.rchsh.2017.01.003
- Santos, M. J., & Sánchez-del Castillo, F. (2003) Densidades de población, arreglos de dosel y despuntes en jitomate cultivado en hidroponía bajo invernadero. *Revista*

- Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 257-262. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/26-4/6a.pdf>
- SAS Institute. (2003). *SAS/STAT users guide version 9.1.3*. New York, USA: Author.
- Ugur, A., & Kavak, S. (2007). The effects of pp 333 and ccc on seed germination and seedling height control of tomato. *Acta Horticulturae*, 729, 205-208. doi: 10.17660/ActaHortic.2007.729.32
- Velázquez-Alcaraz, T. J., Partida-Ruvalcaba, L., Acosta-Villegas, B., & Ayala-Tafoya, F. (2008). Producción de plantas de tomate y chile aplicando Paclobutrazol al follaje. *Universidad y Ciencia*, 24(1), 21-28. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792008000400003
- Villegas-Cota, J. R., González-Hernández, V. A., Carrillo-Salazar, J. A., Livera-Muñoz, M., Sánchez-del Castillo, F., & Osuna-Enciso, T. (2004). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 333-338. Retrieved from <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/27-4/5a.pdf>
- Zandstra, J. W., Dick, J., & Lang, J. (2004). *Evaluation of topaz (propiconazole) for transplant size control and earlier maturity of processing tomato*. Ontario, Canada: University of Guelph Ridgetown. Retrieved from <https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/handle/10214/1967>