



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**EL USO DE PACLOBUTRAZOL PARA MODIFICAR EL ASPECTO
VISUAL DE *LILIUM* ASIÁTICO CV. LITOUWEN**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

PRESENTA

DAVID VELASCO LARA

DIRECTOR DE TESIS: DR. GUMERCINDO HONORATO DE LA CRUZ GUZMÁN

LOS REYES IZTACALA, FEBRERO 2023.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo fue realizado en la Unidad de Morfología y Función de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala bajo la dirección del Dr. Gumercindo Honorato De La Cruz Guzmán.

Mi más sincero agradecimiento al Mtro. Alberto Arriaga Frías, Dr. Manuel Mandujano Piña, Dra. María del Rocío Reyero Saavedra, Mtra. Dalia Grego Valencia y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo.

A mis padres

A mis abuelos y hermano

A mis familiares y amigos

ÍNDICE GENERAL

1.0 RESUMEN	1
2.0 INTRODUCCIÓN	2
3.0 REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1 El cultivo de <i>Lilium</i> en México	3
3.2 Características morfológicas y ubicación taxonómica del género <i>Lilium</i>	4
3.3 Requerimientos para el cultivo de <i>Lilium</i>	6
3.4 Productos comerciales que modifican la arquitectura en ornamentales	7
3.4.1 Paclobutrazol (PBZ)	9
3.4.2 Interacción ácido giberélico-paclobutrazol	10
3.5 Efectos fisiológicos y cambios morfológicos por la aplicación de PBZ	11
3.5.1 Concentraciones de PBZ requeridas para que ocurra respuesta fisiológica en <i>Lilium</i>	12
4.0 OBJETIVOS	13
4.1 General	13
4.2 Particulares	13
5.0 HIPÓTESIS	13
6.0 MATERIALES Y MÉTODOS	14
6.1 Sitio de trabajo y material vegetal	14
6.2 Llenado de las macetas y plantación de los bulbos	15
6.3 Unidades experimentales y tratamientos	16
6.4 Monitoreo de la humedad y fertirriego con solución nutritiva	16
6.5 Evaluaciones	18
7.0 RESULTADOS	20
7.1 Temperatura del ambiente en el interior del invernadero	20
7.2 Altura de los tallos florales	21
7.3 Diámetro del tallo	23
7.4 Número de hojas	24
7.5 índice de verdor (IV): U-SPAD	25
7.6 Aspecto visual de tallos florales y bulbos	27

7.7 Número, longitud, diámetro y peso fresco de botones florales, días a floración y periodo de antesis	28
7.8 Distribución de biomasa seca (BS)	30
8.0 CONCLUSIONES	32
9.0 LITERATURA CITADA	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales municipios productores de <i>Lilium</i> en México por área de cultivo (SIAP, 2022).	3
Figura 2. Tallos de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen.....	6
Figura 3. Estructura química de paclobutrazol (2RS, 3RS-1(4-clorofenil-4,4-dimetil-2(1H1,2,4-Triazol-1-il)pentan-3-ol)). Recuperado de Rademacher (2000).	9
Figura 4. Vía de síntesis de giberelinas a partir de GGDP y sitio de inhibición por paclobutrazol. Imagen construida a partir de Jordán y Casaretto, (2006); Hedden y Thomas, (2012).	11
Figura 5. Lavado de los bulbos con agua de la llave.	14
Figura 6. Soluciones de PBZ donde se sumergieron por 24 h dieciocho bulbos de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen.....	15
Figura 7. Llenado de las macetas con (A) tezontle entre 8 y 12 mm, (B) tezontle ≤ 5 mm y (C) plantación de bulbos de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen.	16
Figura 8. Distribución aleatoria de unidades experimentales en el interior de un invernadero con cubierta práctica.....	16
Figura 9. Temperaturas diarias en el interior del invernadero donde se cultivaron los tallos florales de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen. Cada dato representa el promedio de 25 repeticiones \pm error estándar.	20
Figura 10. Altura de los tallos florales de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen con ocho concentraciones de PBZ. Cada dato es el promedio de dieciocho repeticiones \pm error estándar. Letras iguales en cada tiempo de evaluación indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).	21
Figura 11. Ecuaciones polinómicas de segundo grado para predecir la altura de tallos florales de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen, por la aplicación de 0 a 200 mg L ⁻¹ de PBZ. Cada dato es el promedio de dieciocho repeticiones \pm error estándar.....	22
Figura 12. Diámetro del tallo de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen con ocho concentraciones de PBZ. Cada dato es el promedio de dieciocho repeticiones \pm error estándar. Letras iguales en cada tiempo de evaluación indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).	23
Figura 13. Aspecto visual de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen cultivado con ocho concentraciones de PBZ.....	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cultivares de <i>Lilium</i> que se comercializan en México por la empresa Flores de Bulbos Importados S.A. de C.V. y costos de los tallos florales durante subasta FloraHolland en 2009 (Grassotti y Gimelli, 2011).....	4
Cuadro 2. Cantidad de micronutrientes que se deben pesar y agregar a un litro de solución nutritiva.	17
Cuadro 3. Número de hojas de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen cultivado con distintas concentraciones de PBZ.....	25
Cuadro 4. U-SPAD en hojas de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen cultivado con ocho concentraciones de PBZ.....	26
Cuadro 5. Efecto de ocho concentraciones de paclobutrazol (PBZ) en la floración de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen.....	29
Cuadro 6. Biomasa seca de <i>Lilium</i> asiático cv. Litouwen cultivado con ocho concentraciones de paclobutrazol (PBZ).....	30

1.0 RESUMEN

Los reguladores de crecimiento vegetal se han utilizado para modificar el aspecto visual o mejorar el manejo de las ornamentales. En este trabajo se evaluó el efecto de ocho concentraciones de paclobutrazol (PBZ) en variables de crecimiento, floración, aspecto visual y distribución de biomasa de *Lilium* asiático cv. Litouwen. Las unidades experimentales (UE) estuvieron conformadas por una maceta con 2.5 L de tezontle y tres bulbos de *Lilium* asiático cv. Litouwen. Los tratamientos, con seis repeticiones, fueron: 0.0, 2.5, 5.0, 10, 20, 40, 100 y 200 mg L⁻¹ PBZ aplicados directamente a los bulbos antes de la plantación. En las UE, la humedad del sustrato se mantuvo entre 80 y 100 % con solución Steiner. Se evaluó la altura y el aspecto visual de los tallos florales, los días a la floración y la distribución de biomasa seca. A los datos se les aplicó análisis de varianza de un factor y pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) con el Software SAS 9.0 para Windows. Los resultados indicaron que, a partir de 5 mg L⁻¹ de PBZ, la altura de los tallos se redujo y el diámetro se incrementó, particularmente con 100 o 200 mg L⁻¹. Conforme aumentaron las dosis de PBZ, el número de hojas fue menor y el índice de verdor aumentó sin afectar el número de botones por tallo floral, que fueron más cortos y robustos. Esta combinación confirió a los tallos florales un aspecto llamativo con posibilidades de satisfacer los gustos de mayor número de consumidores. Sin PBZ, el inicio de la floración ocurre a los 85 d, pero con 40, 100 o 200 mg L⁻¹ se puede retrasar de 15 a 20 d, mientras que la duración de la floración se incrementa hasta tres veces más comparado con el control (4.67 d). La biomasa seca de raíces, bulbos y botones florales se incrementó, pero la de tallos y hojas fue menor conforme aumentaron las dosis de paclobutrazol. Con esta investigación se demuestra que, la aplicación de PBZ en bulbos de *Lilium* asiático cv. Litouwen modifica el aspecto visual de los tallos florales y los hace más llamativos para su comercialización.

Palabras clave: Altura de los tallos florales, distribución de biomasa seca, inicio de la floración, índice de verdor.

2.0 INTRODUCCIÓN

En la floricultura mexicana, la rosa, el crisantemo y la gladiola son las ornamentales más comercializadas. Sin embargo, los cultivares pertenecientes al género *Lilium* están adquiriendo cada vez mayor aceptación por los consumidores, principalmente por sus fragancias y la gama de colores que tienen sus flores (Carrillo, 2017). Los cultivares del género *Lilium* han sido seleccionados y cultivados principalmente como flores de corte, pero su demanda como plantas de maceta está en aumento (Conti *et al.*, 1991).

Los productores utilizan distintas técnicas de cultivo o productos agroquímicos con el fin de modificar el aspecto visual de los tallos florales. Por ejemplo, con el uso de paclobutrazol (PBZ) se puede inhibir la síntesis del ácido giberélico (AG_3) y así obtener tallos florales más cortos (Hedden y Thomas, 2012; Iglesias y Talón, 2013; Soumya *et al.*, 2017). En plantas ornamentales se ha reportado el uso de diferentes concentraciones de PBZ para modificar su altura y otros aspectos morfológicos. Por ejemplo, se redujo la altura en *Borrchia frutescens* y *Camellia japónica* un 55 y 34 % tras la aplicación de 40 y 50 mg L⁻¹ PBZ respectivamente, además de que el índice de verdor incrementó en *C. japónica* (Larcher *et al.*, 2011; Carver *et al.*, 2014). Para *Lilium*, se ha reportado la reducción de la altura en cultivares asiáticos hasta del 49 % o reducciones hasta del 63 % en cultivares orientales, tras la inmersión de los bulbos en 300 mg L⁻¹ PBZ (Conti *et al.*, 1991; Miller *et al.*, 2002; Ranwala *et al.*, 2002); en *Lilium* cv. Tigre, Ercolano y Royal Respect y Arcachón, la longitud del tallo disminuyó 10, 23, 29 y 21.3 cm por la aplicación de 20, 150 y 200 mg L⁻¹ de PBZ respectivamente (Francescageli *et al.*, 2007; Latimer y Freeborn, 2011; Torres-Pio *et al.*, 2021).

Diversos autores (Conti *et al.*, 1991; Miller *et al.*, 2002; Ranwala *et al.*, 2002; Francescageli *et al.*, 2007; Latimer y Freeborn, 2011 y Torres-Pio *et al.*, 2021) han reportado la inmersión de bulbos en distintas concentraciones de PBZ para modificar el aspecto visual de los tallos florales de *Lilium*. Sin embargo, no existen trabajos donde se reporten ecuaciones para relacionar la altura de los tallos florales con las concentraciones de PBZ aplicadas.

3.0 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El cultivo de *Lilium* en México

Lilium es uno de los cultivos de ornato más comercializados del mundo, los principales productores son los países bajos con el 75 % de la producción total, seguidos por Francia (7 %), Chile (3.5 %), Japón (3.4 %), Estados Unidos (3.1 %) y Nueva Zelanda (2 %) (Chaudhary *et al.*, 2018). En 2009, la producción y comercialización de tallos florales en los países bajos se estimó en 350 millones de tallos florales, con un valor monetario total de 141 millones de euros (Lim *et al.*, 2008; Grassotti y Gimelli, 2011).

En México, *Lilium* para flores de corte se cultiva principalmente a cielo abierto, invernadero o viveros. Su producción pasó de 33 hectáreas y 600 gruesas (1 gruesa contiene 144 tallos florales) en 2001, a 108 hectáreas y 3208 gruesas en 2007. Para 2021, la superficie destinada para flor de corte fue de 245.7 hectáreas, con una producción de 748,754 gruesas (Figura 1) (García y Companioni, 2018; SIAP, 2022).

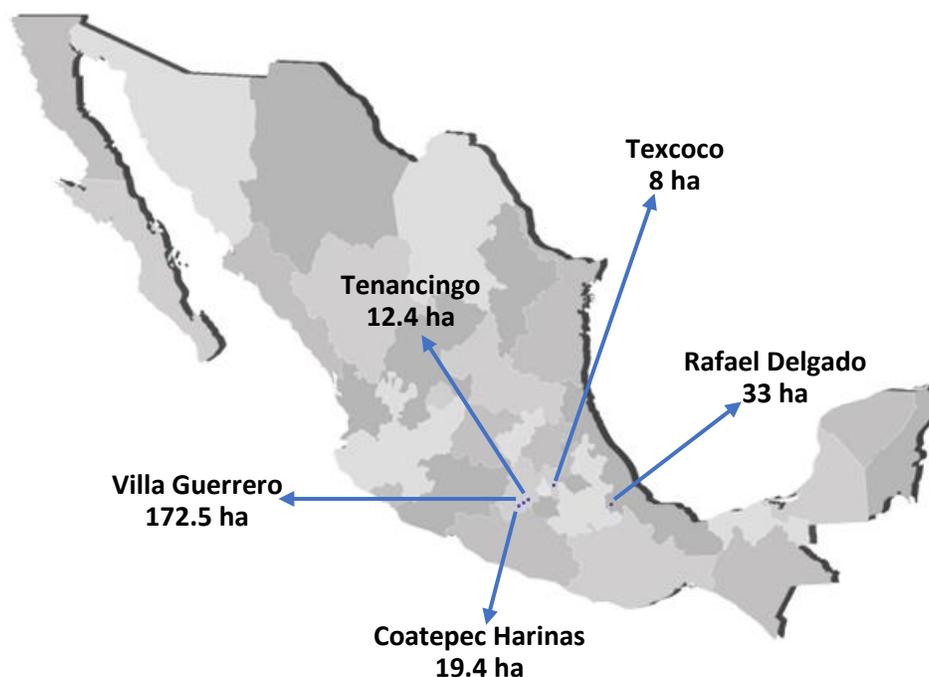


Figura 1. Principales municipios productores de *Lilium* en México por área de cultivo (SIAP, 2022).

A pesar de que México es productor de tallos florales de *Lilium*, la producción de bulbos para siembra es nula, por ello, existe una dependencia de los cultivares que se comercializan dentro del país con los que se encuentran disponibles en el mercado extranjero, principalmente de los países bajos, marcando las tendencias florícolas dentro del mercado mexicano (García y Companioni, 2018). La disponibilidad de cultivares puede consultarse con distribuidores que importan los productos desde Holanda, Nueva Zelanda y Chile, tales como Flores de Bulbos Importados S.A de C.V. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cultivares de *Lilium* que se comercializan en México por la empresa Flores de Bulbos Importados S.A. de C.V. y costos de los tallos florales durante subasta FloraHolland en 2009 (Grassotti y Gimelli, 2011).

<i>Lilium</i>	Color	Cultivar	Costo por tallo floral en 2009 (€), FloraHolland
Híbridos asiáticos y LA (<i>L. longiflorum</i> x híbridos Asiáticos)	<i>Blanco</i>	Arcachón, Litouwen, Navona, Rodengo,	0.25
	<i>Rosa</i>	Arbatax, Indian summer set, Tirreno, Yerseke, Mandalay bay	0.28
	<i>Rojo</i>	Armandale, Break out, Colares, Dinamix, Ducati	0.26
	<i>Amarillo</i>	El divo, Nashville, Pavia	0.28
	<i>Anaranjado</i>	Caesars palace, Flemington, Nello, Sunderland, Tesor	0.28
	<i>Café</i>	Forza red, Oportunity	0.31
	Híbridos orientales y OT's (híbridos orientales x Trumpet)	<i>Rosa</i>	Albareto, Marlon, Profundo, Table dance, King Solomon
<i>Rojo</i>		Indiana, Bacardi	0.77
<i>Amarillo</i>		Serano, Catina, Concador, Manissa	0.57
<i>Blanco</i>		Novela zembla, Saronno, Zambessi	0.54

3.2 Características morfológicas y ubicación taxonómica del género *Lilium*

El género *Lilium* está compuesto aproximadamente de cien especies, distribuidas principalmente en regiones templadas del hemisferio norte, principalmente Asia,

Norteamérica y Europa. La mayoría de las especies tienen un centro de origen en el sudeste asiático (China, Corea y Japón), mientras que otro grupo menor de especies es originario de Norteamérica (Pelkonen, 2005; Ikinci *et al.*, 2006; Lim *et al.*, 2008; Du *et al.*, 2014). Estas plantas son un tipo de geófitas herbáceas perennes que presentan bulbos compuestos por brácteas escamosas. Las escamas protegen un meristemo apical que da origen a un tallo folioso no ramificado, el cual puede llegar a alcanzar longitudes de hasta dos metros. En el extremo caulinar se desarrollan las flores, solitarias o en inflorescencias racimosas (Facchinetti y Marinangeli, 2008; Kim *et al.*, 2017). Las flores de *Lilium* siguen el modelo estructural de una monocotiledónea; son simétricas con dos verticilos de pétalos, dos verticilos de anteras y un ovario trilobulado (Yembaturova y Korchagina, 2011). Existe una variedad de formas, tamaños y colores en las flores de *Lilium*, ya que muchos de los cultivares comercializados han sido producidos por hibridación interespecífica. Los cultivares más difundidos pertenecen a los grupos: híbridos de *Lilium longiflorum* Thunb (la azucena clásica de flores blancas); los híbridos interespecíficos tipo asiáticos; los híbridos interespecíficos tipo orientales; y los híbridos L/A, L/O y O/A (productos de la hibridación entre *L. longiflorum* x híbridos Asiáticos, *L. longiflorum* x híbridos Orientales e híbridos Orientales x híbridos Asiáticos, respectivamente) (Facchinetti y Marinangeli, 2008; Chaudhary *et al.*, 2018). El género *Lilium* se ubica taxonómicamente como: (<https://www.tropicos.org/name/40006767>):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht

Superorden: Lillanae Takht

Orden: Liliales Perleb

Familia: !!Liliaceae Juss

Género: *Lilium* L.

3.3 Requerimientos para el cultivo de *Lilium*

Para el cultivo de *Lilium*, generalmente se recomienda que el sustrato tenga una conductividad eléctrica máxima de 1.5 a 2 dS m⁻¹ y un pH entre 5 y 7. El cultivo en maceta ha sido exitoso con tezontle o sustratos con buen drenaje y retención de humedad superior al 60 %. Es importante desinfectar el sustrato para disminuir problemas sanitarios. Así mismo, los bulbos deben de plantarse al menos a una profundidad de 10 cm, ya que ésta influirá en el enraizamiento y emisión de raíces adventicias durante la fase vegetativa (Evans y Beck, 2007; Francescangeli y Marinangeli, 2018). Las temperaturas máximas para el cultivo de híbridos asiáticos y orientales son de 21 y 30 °C respectivamente. Temperaturas mayores que 35 °C pueden causar aborto o disminución del número y longitud de los botones florales (Flores, 2013; Runkle, 2018). Los bulbos contienen un reservorio de nutrientes que pueden sostener la demanda nutricional de la planta al menos hasta que emerjan las raíces para que inicien la absorción de elementos esenciales cuando se cultivan. Durante este periodo, el riego puede realizarse únicamente con agua de la llave o de pozo. La aplicación de fertilizantes o soluciones nutritivas inicia con la aparición de hojas (Figura 2).



Figura 2. Tallos de *Lilium* asiático cv. Litouwen.

3.4 Productos comerciales que modifican la arquitectura en ornamentales

Todas las plantas producen de manera natural compuestos químicos que se translocan por xilema o floema y producen una respuesta fisiológica en concentraciones micro o nanomolares. A estos compuestos se les llama hormonas vegetales o fitohormonas. En caso de que, los productores los apliquen de manera exógena, su nombre cambia a reguladores de crecimiento vegetal o PGRs (Plant Growth Regulators, por sus siglas en inglés). Los PGRs son compuestos naturales o sintéticos que afectan el balance de las hormonas vegetales, por inhibir su biosíntesis, evitar su traslocación del sitio de producción al sitio de acción o el bloqueo de sus receptores hormonales (Rademacher y Brahm, 2015; Rademacher, 2016; Fishel, 2018). Los PGRs que se utilizan para modificar procesos fisiológicos y así cambiar la arquitectura o aspecto visual de las ornamentales son aquellos que contienen:

- a) Auxinas como el ácido indol-3-butírico (IBA) o el ácido naftalenacético (NAA); se comercializan con el nombre de Hormodin® o Amcotone® y los productores lo utilizan para impedir el desarrollo de brotes, promover la formación y crecimiento de las raíces en esquejes, inducir el desarrollo floral y crecimiento de frutos partenocarpicos, retardar la caída de hojas, flores y frutos jóvenes principalmente (Jordán y Casaretto, 2006). En este sentido, se ha reportado que la aplicación entre 100 y 5000 mg L⁻¹ IBA en *Euphorbia phosphorea* y *Morus alba*, incrementa el porcentaje de enraizamiento de esquejes, la longitud de las raíces y la biomasa seca de estas (Boaretto *et al.*, 2019; Sourati *et al.*, 2022). También se ha reportado la inducción de brotes florales en explantes de *Phalaenopsis amabilis* con la aplicación de 5.37µM de ANA (Frausto *et al.*, 2019).
- b) Citocininas como Benciladenina (BA) es comercializada con el nombre de CyStar® o MaxCell® y los productores lo utilizan para inducir la formación de brotes, retrasar la senescencia de hojas, así como promover la formación de botones florales y la floración (Jordán y Casaretto, 2006). Se ha reportado que la aplicación 25 y 50 mM o 50 mg L⁻¹ de BA en orquídea *Miltoniopsis* y

Manihot esculenta respectivamente, promueve la floración temprana, mayor número de brotes florales, o la reversión de flores masculinas a femeninas (Matsumoto, 2006; Pineda, 2018).

- c) Ácido abscísico (ABA) es comercializado principalmente con el nombre de ProTone[®]. Los productores lo utilizan para mantener la dormancia de las semillas, aumentar la producción de flores femeninas o mejorar el aspecto de los frutos. En este sentido Ferrara *et al.* (2013) demostraron que la aplicación foliar de 200 mg L⁻¹ de ABA en *Vitis vinifera* cv. Crimson Seedless mejoró la coloración de los frutos, disminuyendo el tiempo de cosecha de los racimos sin afectar los grados Brix o valores de pH. Con 1, 3 y 5 µM ABA, se redujo el tiempo a la floración, aumentó el número de flores y el periodo de floración en *Vigna aconitifolia* (Saxena *et al.*, 2008).
- d) Etileno se comercializa con el nombre de Ethrel[®] o etefón. Los productores lo utilizan para promover la maduración de los frutos (Rademacher, 2015). En *Acca sellowiana* y *Vigna radiata* L. aplicaciones entre 6 y 100 mg L⁻¹ de etefón reducen los días a la floración y aumentan el número de flores por planta (García *et al.*, 2008; Zahir *et al.*, 2015).
- e) El ácido giberélico (AG₃) se comercializa con el nombre de Activo[®]. Los productores lo utilizan principalmente para promover el crecimiento y desarrollo de tallo, raíces y hojas a través de la estimulación por división y elongación celular, modular el tiempo de floración y el desarrollo de flores, frutos y semillas (Jordán y Casaretto, 2006). Si bien se han caracterizado cerca de 140 giberelinas diferentes, se ha encontrado que las giberelinas AG₁, AG₃, AG₄ y AG₇ son las únicas biológicamente activas, sintetizadas principalmente en tejidos de tallos, hojas, flores y semillas aún en desarrollo (Hedden y Thomas, 2012). En este sentido, se ha evaluado el uso de giberelinas para la modificación del aspecto visual de plantas ornamentales: En *Euphorbia pulcherrima*, *Eustoma grandiflorum* cv. Mariachi Blue o *Lilium longiflorum* cv. Tiber, la altura de los tallos florales se incrementa entre 26 y 92 % por la aplicación de 0, 25, 50 y 100 mg L⁻¹ de AG₃ (Alia *et al.*, 2011; Situma *et al.*, 2015; Guerrero, 2022).

3.4.1 Paclobutrazol (PBZ)

Los inhibidores de la biosíntesis de giberelinas son utilizados para retardar el crecimiento de las plantas, principalmente ornamentales, ya que disminuyen la altura de estas sin afectar su calidad ornamental, lo que puede darle un valor agregado a su comercialización (Rademacher, 2016); Cycocel®, Bonzi®, Piccolo® o Cultar®, son productos con los que se comercializa paclobutrazol (PBZ), un compuesto químico sintético perteneciente al grupo de los triazoles, con estructuras en forma de anillo y tres átomos de nitrógeno, un clorofenil y una cadena simple de carbonos (Figura 3) (Rademacher, 2000; Fishel, 2018). PBZ fue reportado por primera vez como un potente PGR en 1982 y su introducción al mercado se realizó en 1986 por la compañía ICI Agrochemicals (Fletcher y Gilley, 2000; Rademacher, 2016).

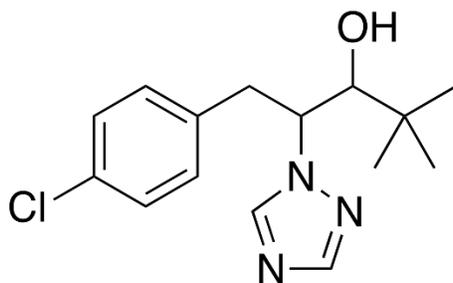


Figura 3. Estructura química de paclobutrazol (2RS, 3RS-1(4-clorofenil-4,4-dimetil-2(1H1,2,4-Triazol-1-il)pentan-3-ol)). Recuperado de Rademacher (2000).

Las propiedades reguladoras de PBZ en el crecimiento están mediadas principalmente por la inhibición en la síntesis de giberelinas, provocando en consecuencia el decremento en la producción de etileno, aumento en las concentraciones de ácido abscísico y citocininas (Soumya *et al.*, 2017). De esta forma, los cambios visuales más destacados en las plantas por el uso de PBZ son: la reducción de la altura y área foliar, hojas más gruesas y oscuras, aumento en el crecimiento radial del tallo y raíces, mayor crecimiento longitudinal de raíces y un aumento en el rendimiento de flores, frutos y semillas; mejoramiento en las

relaciones hídricas por incremento en el contenido de agua y reducción de la transpiración, retardo de la senescencia por una mayor síntesis de antioxidantes, pigmentos fotosintéticos e incremento de la actividad fotosintética, así como una mayor tolerancia de las plantas al estrés abiótico debido a una mayor protección de la membrana celular por una disminución en la degradación de lípidos (Fletcher y Giller, 2000; Rademacher, 2015; Soumya *et al.*, 2017).

3.4.2 Interacción ácido giberélico-paclobutrazol

La ruta de biosíntesis de las giberelinas inicia con la ciclación del GGDP (geranilgeranildifosfato) dentro de los plastidios; dentro de este organelo, GGDP es catalizado por las enzimas ent-copali difosfato sintasa (CPS) y ent-kaureno sintasa (KS), formando ent-kaureno (Figura 4 A). Ent-kaureno es oxidado varias veces en el retículo endoplásmico, por ent-kaureno oxidasa (KO) formando ácido ent-kaurenoico (Figura 4 B). Posteriormente esta molécula se convierte en AG₁₂ por la acción de monooxigenasas P450s (KAO) (Figura 4 C). Las posteriores reacciones que formarán las diferentes giberelinas a partir del sustrato AG₁₂ ocurrirán en el citosol, y estarán mediadas principalmente por dioxigenasas (2oX), las cuales formarán giberelinas biológicamente activas como AG₁, AG₃ y AG₄ (Figura 4 D) (Rademacher, 2000; Yamaguchi, 2008; Hedden y Thomas, 2012). Cuando se aplica PBZ, este inhibe la actividad de ent-kaureno oxidasa (KO), ya que bloquea el sitio activo de esta enzima, inhibiendo la formación de ent-kaurenol, ent-kaurenal y el ácido ent-kaurenoico (Figura 4 E).

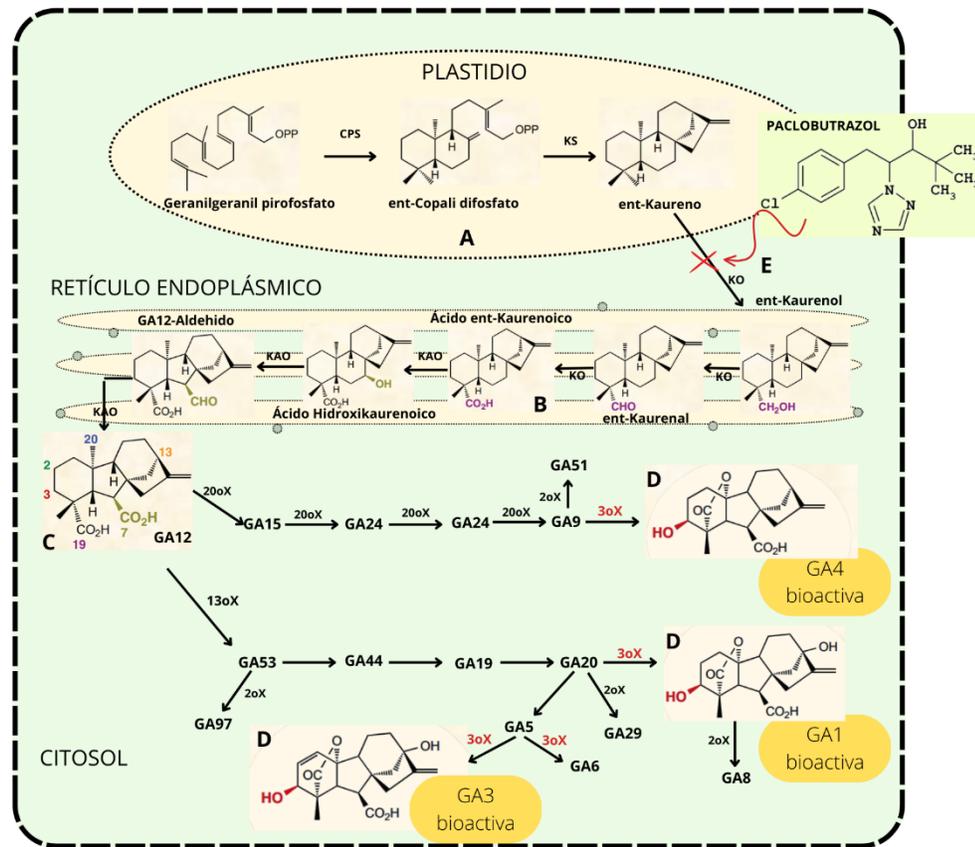


Figura 4. Vía de síntesis de giberelinas a partir de GGDP y sitio de inhibición por paclobutrazol. Imagen construida a partir de Jordán y Casaretto, (2006); Hedden y Thomas, (2012).

3.5 Efectos fisiológicos y cambios morfológicos por la aplicación de PBZ

Paclobutrazol [Cultar® (23.42 % de PBZ, Syngenta, Switzerland)] es un compuesto que se comercializa como suspensión y puede aplicarse por aspersión en las hojas de los cultivos o por inmersión de los bulbos en el caso particular de los *Lilium* orientales o asiáticos. La aplicación foliar, inmersión y riego de 1 a 25 mg L⁻¹ PBZ en plantas de *Solanum lycopersicum*, *Triticale hexaploide* Lar. y *Catharanthus roseus* respectivamente, mejora la actividad fotosintética, aumenta la concentración de clorofila en hojas, disminuye la transpiración y aumenta la biomasa fresca en las raíces (Berova y Zlatev, 2000; Berova y Zlatev, 2003; Jaleel *et al.*, 2007). De la misma forma, en *Borrchia frutescens* o *Camellia japónica* la aplicación de 40 o 50

mg L⁻¹ PBZ disminuye en 34 o 40 % la altura de las plantas comparadas con sus respectivos controles cuyas alturas fueron de 47 y 38 cm respectivamente (Larcher *et al.*, 2011; Carver *et al.*, 2014). Para *Lilium* asiático está demostrado (Francescangeli *et al.*, 2007; Torres-Pio *et al.*, 2021; Rios *et al.*, 2021) que la aplicación de PBZ provoca cambios en la morfología, fisiología, anatomía o distribución de biomasa, pero aún no están claramente definidas las concentraciones de paclobutrazol para que ocurran las respuestas fisiológicas.

3.5.1 Concentraciones de PBZ requeridas para que ocurra respuesta fisiológica en *Lilium*

El riego con 10 mg L⁻¹ PBZ reduce la altura hasta 23 % en *Lilium lancifolium* cv. Tigre (respecto al control 64 cm), mientras que la inmersión en 25, 50, 100, 120, 150 y 200 mg L⁻¹ PBZ redujo la altura 21.33, 29, 6.6, 19, 23 y 35 cm en *Lilium* asiático cv. Arcachon, Royal Respect, Cilesta, Nellie White, Ercolano y Armandale, respectivamente. En estos cultivares no se presentaron cambios en el tiempo de floración y número de flores, permitiendo su comercialización en maceta (Francescageli *et al.*, 2007; Currey y Lopez, 2010; Dhiman, 2011; Latimer y Freeborn, 2011; Torres-Pio *et al.*, 2021; Rios, 2021). Sin embargo, Ríos demostró que la aplicación de 200 mg L⁻¹ PBZ en *Lilium* cv. Tesoro disminuyó 42 % la altura de las plantas respecto al control (58 cm) así como aumentó 54 % el número de botones florales, lo que mejoró considerablemente la calidad ornamental. También se han reportado reducciones en la altura hasta del 63 % en cultivares de híbridos orientales (control hasta 67.4 cm) o disminuciones hasta del 49 % en cultivares híbridos asiáticos comparados con el control (hasta 77 cm) tras la inmersión en 300 mg L⁻¹ PBZ (Conti *et al.*, 1991; Miller *et al.*, 2002; Ranwala *et al.*, 2002).

Varios autores (Conti *et al.*, 1991; Miller *et al.*, 2002; Ranwala *et al.*, 2002; Francescageli *et al.*, 2007; Currey y Lopez 2010; Latimer y Freeborn 2011; Dhiman, 2011; Torres-Pio *et al.*, 2021; Rios, 2021) han trabajado distintas concentraciones de PBZ en *Lilium* para modificar el aspecto visual de los tallos florales. Sin embargo,

en la literatura revisada no se encontraron ecuaciones que predigan la altura de las plantas por la aplicación de concentraciones distintas de PBZ, por lo que sería relevante realizar investigaciones con esta temática.

4.0 OBJETIVOS

4.1 General

Evaluar el efecto de ocho concentraciones de paclobutrazol (PBZ) en la altura de los tallos, floración, aspecto visual y distribución de biomasa seca de *Lilium* asiático cv. Litouwen.

4.2 Particulares

Obtener ecuaciones polinómicas de segundo grado para predecir la altura de los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen por la aplicación de ocho concentraciones de PBZ.

Describir el aspecto visual de tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen por la aplicación de ocho concentraciones de PBZ.

Analizar la distribución de biomasa seca en *Lilium* asiático cv. Litouwen por la aplicación de ocho concentraciones de PBZ.

5.0 HIPÓTESIS

Cultar® (23.42 % de PBZ, Syngenta, Switzerland) es un producto comercial que inhibe la biosíntesis de ácido giberélico y reduce el crecimiento longitudinal del tallo. Distintas concentraciones de este producto reducirán de manera diferenciada la longitud de los tallos florales y modificarán el aspecto visual de *Lilium* asiático cv. Litouwen.

6.0 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Sitio de trabajo y material vegetal

El experimento se realizó, del 4 de marzo al 30 de junio de 2022, en el laboratorio 9 de la Unidad de Morfología y Función FES-Iztacala, UNAM. Los bulbos de *Lilium asiático* cv. Litouwen calibre 14/16 se adquirieron de la empresa Flores de Bulbos Importados S.A de C.V. Villa Guerrero, Estado de México, México. En el laboratorio, los bulbos se almacenaron a temperatura ambiente por 12 horas, se extrajeron del sustrato y se lavaron con agua de la llave (Figura 5).



Figura 5. Lavado de los bulbos con agua de la llave.

En recipientes individuales se colocaron 5 L de soluciones de paclobutrazol (PBZ) con las concentraciones o tratamientos siguientes: 0, 2.5, 5, 10, 20, 40, 100, 200 mg L⁻¹. En cada tratamiento se sumergieron dieciocho bulbos de *Lilium asiático* cv. Litouwen por 24 horas (Figura 6).



Figura 6. Soluciones de PBZ donde se sumergieron por 24 h dieciocho bulbos de *Lilium asiático* cv. Litouwen.

6.2 Llenado de las macetas y plantación de los bulbos

Los bulbos de cada tratamiento fueron plantados, en grupos de tres, en macetas de plástico rígido con 2.5 L de tezontle, previamente lavado con agua de la llave. Para la plantación, una capa de tezontle con granulometría entre 8 y 12 mm se colocó en la base de cada maceta y se ajustó a 2.5 L con tezontle más fino (≤ 5 mm) la humedad se llevó a 100 % con 1000 mL de agua de la llave (Figura 7).

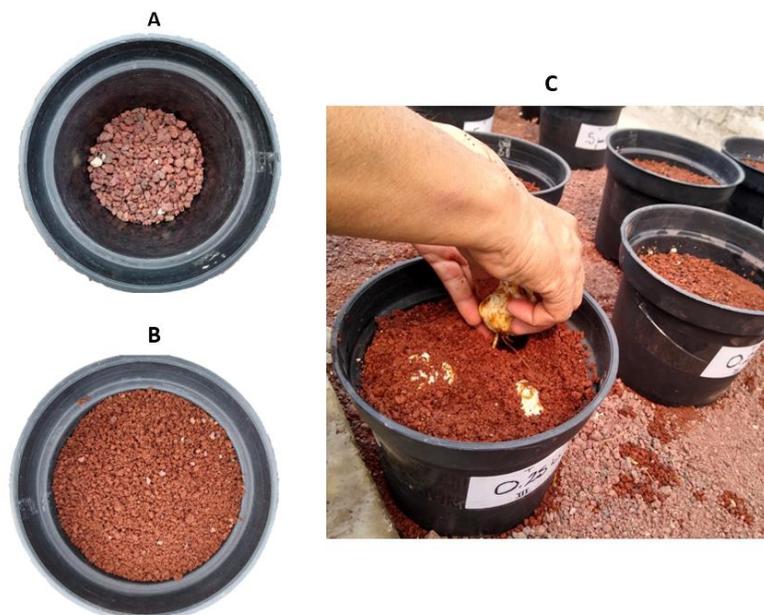


Figura 7. Llenado de las macetas con (A) tezontle entre 8 y 12 mm, (B) tezontle \leq 5 mm y (C) plantación de bulbos de *Lilium* asiático cv. Litouwen.

6.3 Unidades experimentales y tratamientos

Las unidades experimentales (UE) estuvieron conformadas por una maceta con 2.5 L de tezontle y tres bulbos de *Lilium* asiático cv. Litouwen. Los tratamientos con seis repeticiones fueron las ocho concentraciones de PBZ (0.0, 2.5, 5.0, 10, 20, 40, 100 y 200 mg L⁻¹). Las UE se distribuyeron al azar en el interior de un invernadero con cubierta plástica (Figura 8).



Figura 8. Distribución aleatoria de unidades experimentales en el interior de un invernadero con cubierta práctica.

6.4 Monitoreo de la humedad y fertirriego con solución nutritiva

En cada maceta, la humedad fue monitoreada con un tensiómetro Irrometer® Co USA y recuperada entre 80 y 100 % con solución nutritiva Steiner (1961). Para una conductividad eléctrica de 2.0 dS m⁻¹, los miliequivalentes por litro (meq L⁻¹) requeridos para los aniones NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻ son 12, 1 y 7; mientras que, para

los cationes K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} se requirieron 7, 9 y 4 meq L^{-1} . Para preparar 1 L de solución nutritiva Steiner con una conductividad eléctrica de 2 dS m^{-1} se realiza el procedimiento siguiente:

- a) Pesar 0.89, 0.30, 0.35 y 0.37 g de nitrato de calcio $[Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O]$, nitrato de potasio $[KNO_3]$, sulfato de potasio $[K_2SO_4]$ y sulfato de magnesio $[MgSO_4 \cdot 7H_2O]$ y diluirlos por separado en 100 mL de agua.
- b) Juntar todos los fertilizantes diluidos en un contenedor de 1000 mL, agregar 0.023 mL de ácido fosfórico $[H_3PO_4]$, 0.10 mL de ácido nítrico $[HNO_3]$ y las cantidades de micronutrientes que se indican en el cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de micronutrientes que se deben pesar y agregar a un litro de solución nutritiva.

Nombre del micronutriente	Fórmula química	Cantidad a pesar (miligramos)
Ácido bórico	H_3BO_3	2.80
Sulfato de manganeso	$MnSO_4 \cdot H_2O$	2.20
Sulfato de zinc	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.40
Sulfato de cobre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.08
Molibdato de sodio	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.10
Fe-quelato (7% Fe)	Fe-EDTA	42.85

- c) Aforar a 1000 mL y corroborar que el valor de pH se ubique entre 5.5 y 6.5 (Cadahía, 2005).

En el sustrato de las macetas, la precipitación de sales fertilizantes se redujo al aplicar un riego semanal con agua acidulada, pH, 6.0. Todas las unidades experimentales se monitorearon para prevenir la incidencia de plagas, enfermedades o deficiencias nutrimentales.

6.5 Evaluaciones

- 6.5.1 Temperatura del ambiente en el interior del invernadero.** La temperatura en el interior del invernadero se registró con dataloger HOB0[®], desde la plantación de los bulbos hasta la fase de floración.
- 6.5.2 Altura de los tallos florales.** Se midió desde la base del tallo hasta el ápice meristemático con un flexómetro marca Truper[®] de precisión 0.01 cm.
- 6.5.3 Diámetro del tallo.** Se obtuvo de la parte media de cada tallo floral con un vernier digital marca Truper[®] de precisión 0.01 mm.
- 6.5.4 Número de hojas.** Se contó el número de hojas directamente.
- 6.5.5 Índice de verdor.** Los registros se realizaron en las hojas de la parte media del tallo floral con un medidor SPAD portátil marca Hansatech[®] Model CL-01.
- 6.5.6 Aspecto visual de tallos florales y raíces.** Mediante imágenes que fueron tomadas con una cámara digital Nikon D3500, se describieron las diferencias visuales, para lo cual las fotografías fueron procesadas con el Software Adobe Photoshop CS6.
- 6.5.7 Número, longitud, diámetro y peso fresco de botones florales, inicio de la floración, periodo de antesis.** De cada tallo floral se contó de forma directa el número de botones florales; con vernier digital marca Truper[®] (precisión 0.01 mm) se registró la longitud y el diámetro de cada botón floral; el peso fresco se obtuvo con una balanza digital marca Ohaus Adventurer[®] modelo AR3130 y precisión 0.01 g; para el inicio de la floración se contó el número de días transcurridos desde la plantación hasta la apertura del primer botón floral; el periodo de antesis se obtuvo al contar el número de días que transcurrieron de la floración hasta la senescencia (justo cuando la mitad de los botones florales en cada tallo mostraron marchitez o decoloración).
- 6.5.8 Distribución de biomasa seca de raíces, bulbos, tallo, hojas y botones florales.** Tres tallos florales por tratamiento fueron seleccionados para separarlos en raíces, bulbos, tallos, hojas y botones florales. Los bulbos y raíces se lavaron con agua corriente para eliminar el exceso de sustrato. Con una balanza digital marca Ohaus Adventurer[®] modelo AR3130 y precisión

0.01 g se registró la biomasa fresca. Por separado cada uno de estos órganos fueron colocados en bolsas de papel estraza y secados por 24 horas a 80° C en un horno marca Ravel®. La biomasa seca se obtuvo con la misma balanza al retirarlos del horno de secado.

Análisis estadístico

Con los datos de altura se realizó estadística descriptiva y se obtuvieron ecuaciones polinómicas de grado 2 para predecir la altura de los tallos florales en las fases de plántula 20 días después de la plantación (ddp), vegetativa (60 ddp), prefloración (70 ddp) y floración (80 ddp). La estadística descriptiva se realizó con Excel y el análisis de varianza de un factor con pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) con el Software SAS® 9.0 para Windows.

7.0 RESULTADOS

7.1 Temperatura del ambiente en el interior del invernadero

De marzo 4 a junio 30 de 2022, el promedio diario de temperaturas fue de 9.6 a 14.8 °C a las 6 am, misma que se incrementó conforme transcurrieron las horas del día. De las 11:00 a las 17:30 horas, los valores fluctuaron entre 30 y 43 °C. Los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen se desarrollaron con estas temperaturas diarias en sus fases de plántula, vegetativa, prefloración y floración (Figura 9).

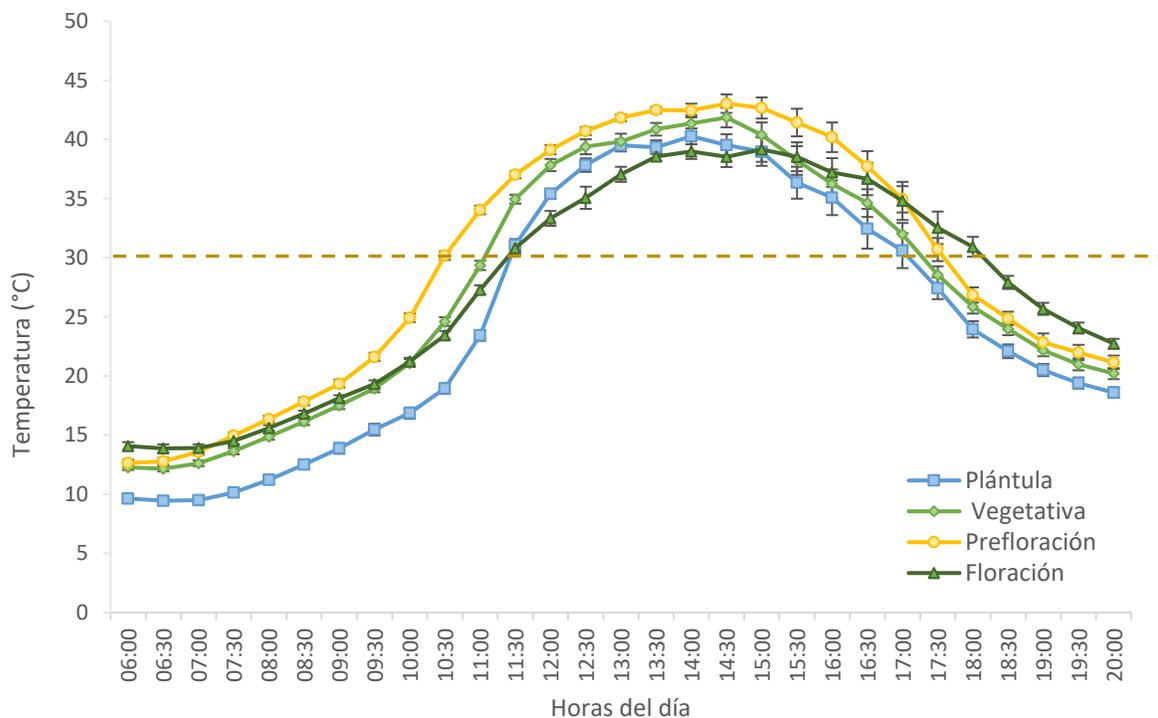


Figura 9. Temperaturas diarias en el interior del invernadero donde se cultivaron los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen. Cada dato representa el promedio de 25 repeticiones \pm error estándar.

Ghetti, (2015); Runkle, (2018) mencionan que el cultivo de *Lilium* asiático tiene buen rendimiento con temperaturas nocturnas de 12 a 18 y diurnas de 21 a 27 °C, pero cuando éstas superan los 29.4 °C se promueve el aborto de los botones florales (Evans y Beck, 2007). En el interior del invernadero donde se cultivaron los tallos

florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen, las temperaturas de cada día superaron los 30 °C por un periodo de 6 h o más, lo que promovió el aborto de los botones florales.

7.2 Altura de los tallos florales

A los 28 días, los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen disminuyeron su altura 21.3, 40.2 y 60.2 % con las concentraciones [5,10]; [20]; [40, 100, 200 mg L⁻¹] con respecto al control [0 mg L⁻¹] cuya altura fue de 20.2 cm. A los 91 días, que corresponde a la fase de floración, la altura fue de 53.2, 43.4, 29.1, 18.3 y 14.0 cm para [0, 5, 10], [20], [40], [100] y [200 mg L⁻¹] respectivamente (Figura 10).

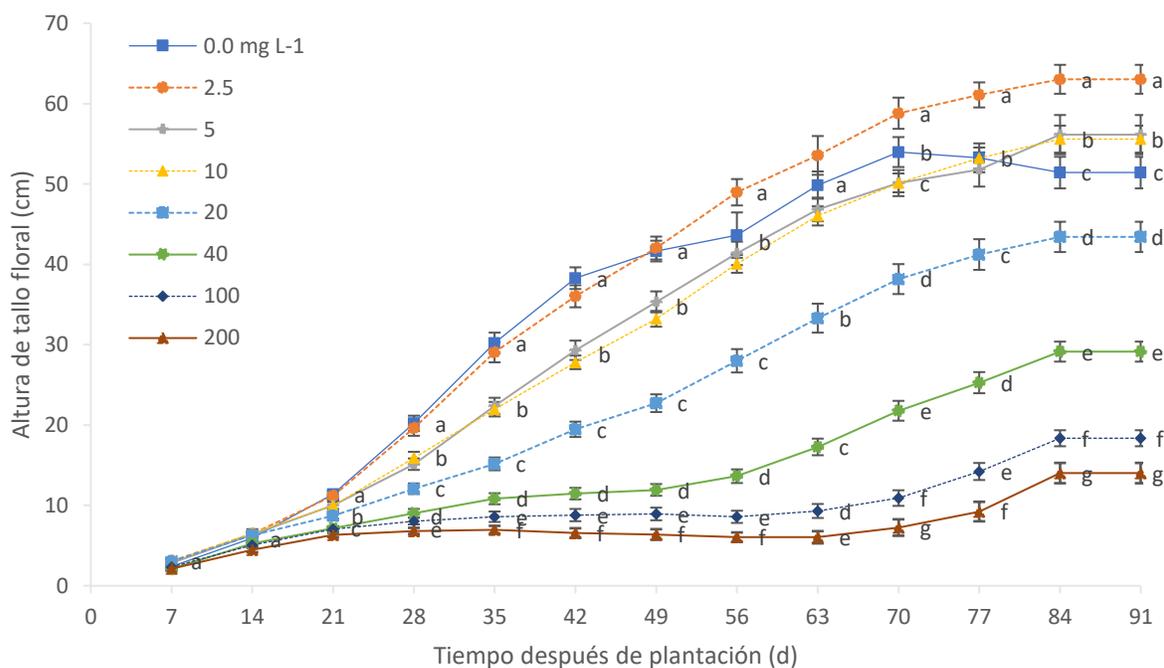


Figura 10. Altura de los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen con ocho concentraciones de PBZ. Cada dato es el promedio de dieciocho repeticiones \pm error estándar. Letras iguales en cada tiempo de evaluación indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

Francescangeli *et al.* (2007); Currey y Lopez, (2010); Latimer y Freeborn, (2011) mencionan que *Lilium* cv. Ercolano, Royal Respect, Nellie White y *Lilium lancifolium*

reducen entre 23 y 59 % la altura de sus tallos florales (que en promedio tienen 63 cm de longitud) por la aplicación de 20 a 150 mg L⁻¹ de PBZ. En esta investigación, se aplicaron concentraciones desde 2.5 hasta 200 mg L⁻¹ PBZ, lo que conllevó a reducciones entre 8 y 72 % en la altura de los tallos florales de *Lilium asiático cv. Litouwen*.

Con el fin de predecir la altura de los tallos florales por la aplicación de PBZ en concentraciones que van de 0 a 200 mg L⁻¹, se obtuvieron ecuaciones polinómicas de segundo grado para cada fase fenológica de *Lilium asiático cv. Litouwen* (Figura 11):

- a) Plántula (20 ± 8 ddp): $Y = -0.0469 X^2 + 0.329 X + 2.3276$; $R^2 = 0.6072$;
- b) Vegetativa (60 ddp): $Y = 0.027 X^2 - 2.312 X + 23.075$; $R^2 = 0.960$;
- c) Prefloración (70 ddp): $Y = -0.594 X^2 - 1.320 X + 49.885$; $R^2 = 0.932$;
- d) Floración (80 ddp): $Y = -1.258 X^2 + 4.438 X + 53.496$; $R^2 = 0.932$.

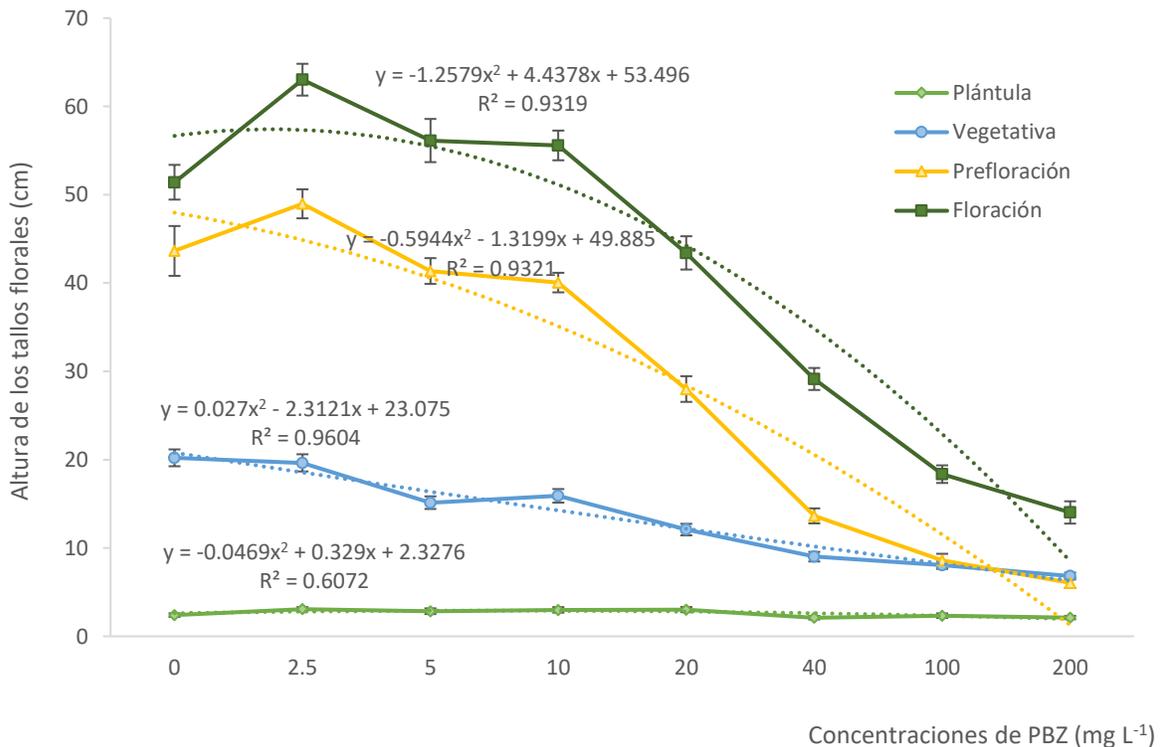


Figura 11. Ecuaciones polinómicas de segundo grado para predecir la altura de tallos florales de *Lilium asiático cv. Litouwen*, por la aplicación de 0 a 200 mg L⁻¹ de PBZ. Cada dato es el promedio de dieciocho repeticiones ± error estándar.

En la fase de plántula, la ecuación polinómica de segundo grado predice con una confiabilidad del 61 % la altura de los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen por la aplicación de 0 a 200 mg L⁻¹ de PBZ. Para la fase vegetativa, prefloración o floración, el porcentaje de confianza con el cual se predice esta variable es ≥ 93 %, siendo las fases que más se adecúan a la ecuación polinómica de segundo grado.

7.3 Diámetro del tallo

A partir del día 14, el diámetro del tallo se redujo sin importar las concentraciones de PBZ. En el día 84, los tallos de los tratamientos 100 o 200 mg L⁻¹ PBZ tuvieron 19 % (10.8 mm) mayor grosor, en comparación de los otros tratamientos (0, 2.5, 5, 10, 20 y 40 mg L⁻¹) que fueron similares entre sí (9.1 mm) (Figura 12).

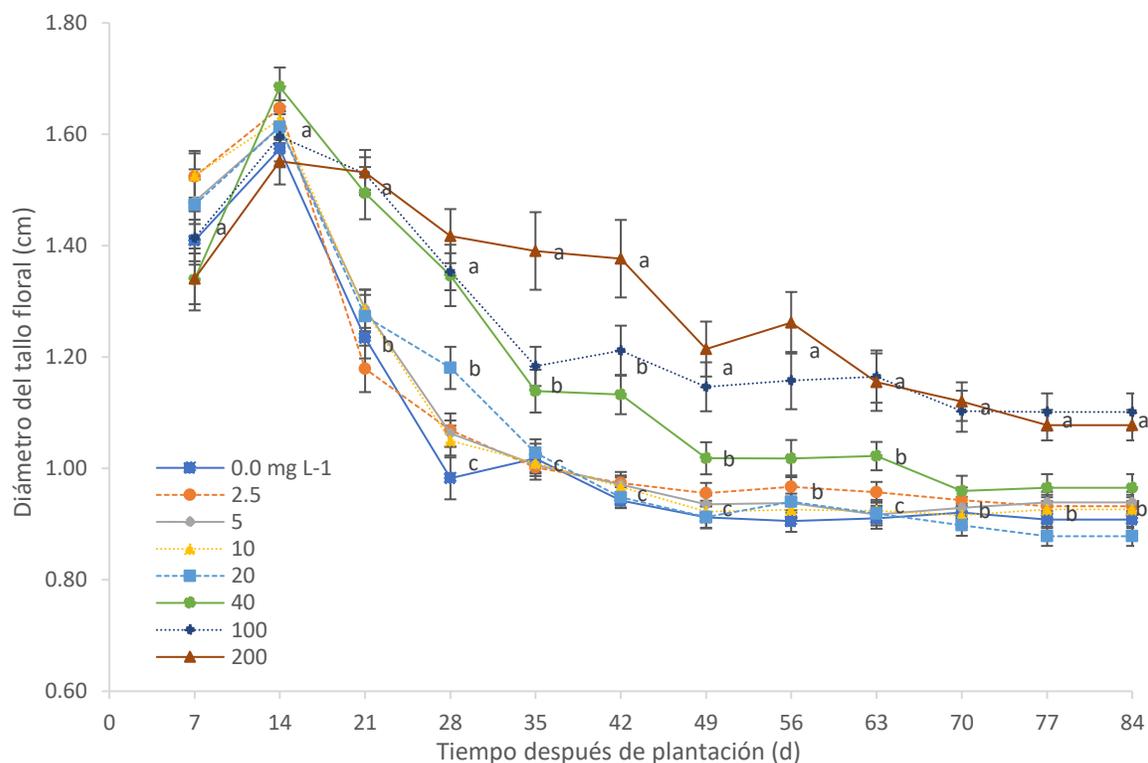


Figura 12. Diámetro del tallo de *Lilium* asiático cv. Litouwen con ocho concentraciones de PBZ. Cada dato es el promedio de dieciocho repeticiones \pm error estándar. Letras iguales en cada tiempo de evaluación indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

En *Solanum tuberosum* cv. BP1 o *Chrysanthemum* var. Fiji White, la aplicación de [90] o [100, 150] mg L⁻¹ de PBZ, incrementó el diámetro del tallo con respecto a sus controles. La anatomía del tallo indicó que en *S. tuberosum* se incrementó el área del córtex, de los haces vasculares y de la médula, mientras que, en *Chrysanthemum* var. Fiji White, el incremento ocurrió en el parénquima cortical y en los elementos de vaso o traqueidas (Tsegaw *et al.*, 2005; Lailaty y Hartanto, 2021). El incremento en el diámetro del tallo también podría atribuirse al acortamiento de los entrenudos y achaparramiento de los tallos. En *Lilium* asiático cv. Litouwen, el diámetro del tallo se incrementó 19 % con respecto al control (9.1 mm) por la aplicación de 100 o 200 mg L⁻¹ de PBZ. En este trabajo, los cambios en la anatomía no fueron evaluados.

7.4 Número de hojas

Durante las fases de plántula (10 a 28 d), vegetativa (29 a 60 d), prefloración (61 a 80 d) o floración (81 a 95 d), la aplicación de 100 o 200 mg L⁻¹ de PBZ disminuyó el número de hojas en los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen con respecto a los tratamientos 0, 2.5, 5, 10, 20 o 40 mg L⁻¹, que a los 84 d tuvieron en promedio 61.6 hojas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de hojas de *Lilium* asiático cv. Litouwen cultivado con distintas concentraciones de PBZ.

Concentraciones de PBZ (mg L ⁻¹)	Días después de la plantación (ddp)				
	28	42	56	70	84
0	27.00 ab ^z	55.00 a	63.00 a	59.60 ab	64.00 a
2.5	27.30 ab	53.30 a	67.00 a	65.30 a	74.60 a
5	33.00 a	54.30 a	66.00 a	64.60 ab	58.30 ab
10	28.60 ab	54.30 a	62.00 a	64.00 ab	64.30 a
20	30.00 a	51.00 a	57.30 a	58.60 ab	62.60 ab
40	23.60 ab	49.60 a	60.60 a	53.00 b	45.60 ab
100	22.30 ab	28.30 b	32.00 b	34.60 c	38.60 cd
200	18.30 b	20.30 b	20.60 b	21.30 d	23.30 d
DHS	11.11	12.36	15.28	12.28	17.77
CV (%)	14.95	9.55	10.10	8.25	11.65

^zCada dato es el promedio de tres repeticiones. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

Jiao *et al.* (1986) y Sharma *et al.* (2009) mencionan que no hay diferencias significativas en el número de hojas por la aplicación de 0, 2, 4, 6, 25 o 50 mg L⁻¹ de PBZ en tallos florales de *Lilium* cv. Nellie White o Star Graze. El primer cultivar tuvo en promedio 63.6 y el segundo 37 hojas, la no coincidencia con esta investigación podría atribuirse a que el registro lo hayan hecho en fases fenológicas distintas o a que la altura de tallos florales se redujo en menor proporción que los de *Lilium* asiático cv. Litouwen. La reducción en el número de hojas está relacionada con la reducción en la elongación y número de entrenudos (Carver *et al.*, 2014).

7.5 índice de verdor (IV): U-SPAD

En la fase de plántula (10 a 28 d), las diferencias en los valores de IV se atribuyeron más a la variabilidad endógena del cultivar que a las distintas concentraciones de

PBZ aplicadas. En las fases vegetativa (29 a 60 d), prefloración (61 a 80 d) y floración (81 a 95 d) el índice de verdor fue mayor con la aplicación de 100 o 200 mg L⁻¹ de PBZ (Cuadro 4).

Cuadro 4. U-SPAD en hojas de *Lilium* asiático cv. Litouwen cultivado con ocho concentraciones de PBZ.

Concentraciones PBZ (mg L ⁻¹)	Tiempo después del trasplante (d)				
	28	42	56	70	84
0	49.21 d ^z	33.50 c	32.70 c	35.00 b	25.20 c
2.5	70.60 c	36.20 bc	36.50 bc	48.30 ab	44.10 b
5	122.10 a	42.10 abc	41.50 abc	41.20 b	41.90 bc
10	103.40 b	44.70 abc	48.00 abc	57.20 a	45.80 b
20	109.10 ab	48.70 a	52.00 ab	60.10 a	51.30 b
40	107.70 ab	41.30 abc	48.60 ab	59.00 a	56.90 b
100	99.90 b	47.30 ab	49.40 ab	60.80 a	55.70 b
200	58.10 cd	48.60 a	52.80 a	63.10 a	79.60 a
DHS	11.76	11.84	15.48	15.44	16.74
CV (%)	14.55	22.26	22.74	21.29	24.32

^zCada dato es el promedio de diez repeticiones. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

Xia *et al.* (2018), Demir y Celikel (2019) y Sayed *et al.* (2022) mencionan que, en hojas de *Paeonia lactiflora* Pall, *Hyacinthus orientales* cv. Jan Bos y *Lavandula officinalis* L., las U-SPAD se incrementan 31, 28 o 40 % (comparadas con un valor promedio de 47.1 ± 2.1 U-SPAD) por la aplicación foliar de 100, 200, 400 o 600 mg L⁻¹ de PBZ. En *Lilium* asiático cv. Litouwen, a los 70 ddp el índice de verdor aumentó 1.5 o 1.7 veces por la aplicación de [2.5, 5.0, 10, 20, 40] o [100, 200 mg L⁻¹] comparado con el control [0 mg L⁻¹ de PBZ] cuyo valor de IV fue de 35 U-SPAD. Las U-SPAD se utilizan para cuantificar de forma indirecta el contenido de clorofila o nitrógeno de las hojas. El incremento se debe a que el PBZ aplicado favorece la

síntesis de pigmentos fotosintéticos, ya que hay una mayor disponibilidad de precursores que no son utilizados para la síntesis de giberelinas (Sayed *et al.*, 2022). El incremento de los pigmentos fotosintéticos podría favorecer la captura de radiación fotosintéticamente activa para generar ATP y NADPH, compuestos que se requieren para la síntesis de triosas fosfato en el ciclo de Calvin-Benson-Bassham. De esta forma se explicaría la alta eficiencia fotosintética para el llenado de bulbos y botones florales en *Lilium* cv. Arcachon tratados con 25, 50, 100 o 200 mg L⁻¹ de PBZ (Torres-Pio *et al.*, 2021). Respuesta similar puede estar ocurriendo en *Lilium* asiático cv. Litouwen.

7.6 Aspecto visual de tallos florales y bulbos

En la fase de floración (81 ddp), los tallos florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen tuvieron aspecto visual similar con 0 o 2.5 mg L⁻¹ PBZ. A partir de 5 y hasta 200 mg L⁻¹, se observaron cambios notables, por ejemplo, los tallos florales fueron más compactos y sus hojas tuvieron mayor intensidad de color. Los bulbos tuvieron aspecto similar, pero la densidad de raíces se incrementó con las dosis de PBZ aplicadas (Figura 13).

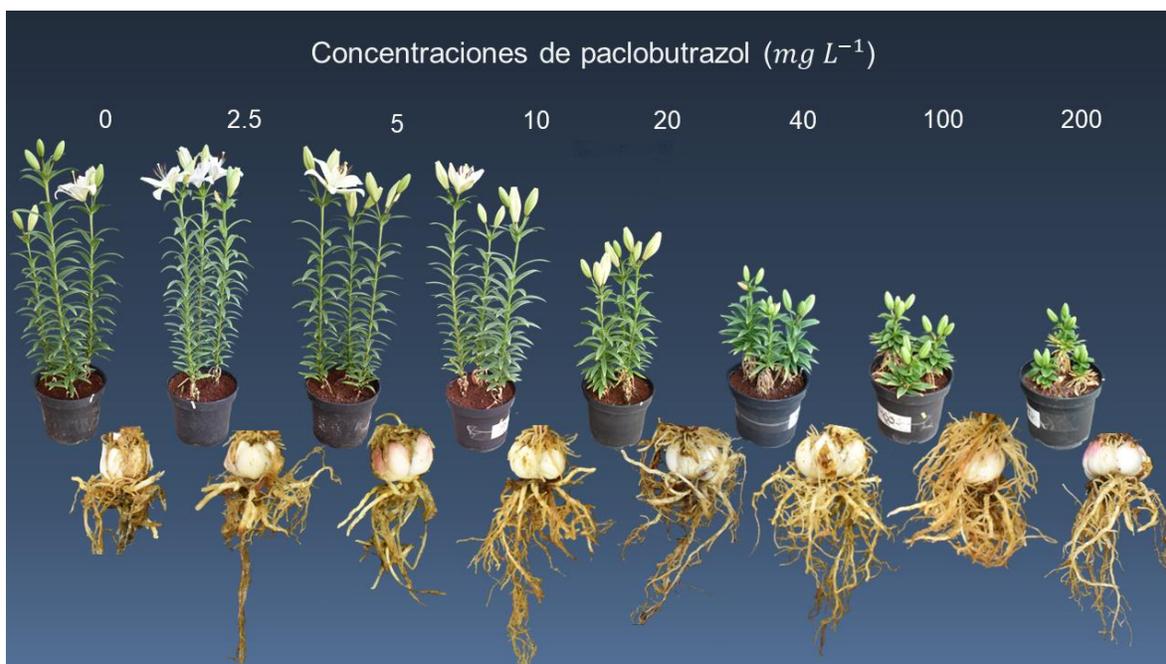


Figura 13. Aspecto visual de *Lilium* asiático cv. Litouwen cultivado con ocho concentraciones de PBZ.

En *Lilium* cv. Ercolano, Royal Respect, Nellie White, Arcachon, Armandale o Tesor, la aplicación de PBZ en concentraciones que van de 20 a 200 mg L⁻¹ mantienen o aumentan el número de botones florales y mejoran su aspecto visual comparado con los del control (0 mg L⁻¹ de PBZ) (Francescangeli *et al.*, 2007; Currey y López, 2010; Torres-Pio *et al.*, 2021; Rios-Florida *et al.*, 2022).

La aplicación de PBZ en concentraciones que van de 5 a 200 mg L⁻¹ modifica el aspecto visual de *Lilium* asiático cv. Litouwen. Esto amplía las posibilidades para satisfacer las demandas y gustos de los consumidores. Torres-Pio *et al.* (2021) mencionan que la densidad de raíces se incrementa en *Lilium* cv. Arcachon conforme aumentan las dosis de PBZ, similar a lo que en esta investigación ocurrió con *Lilium* asiático cv. Litouwen. El incremento en la densidad de raíces podría favorecer la absorción de elementos esenciales, mejorar la nutrición y el aspecto visual de los tallos florales.

7.7 Número, longitud, diámetro y peso fresco de botones florales, días a floración y periodo de antesis

Sin importar la concentración de PBZ, el número de botones florales fue de 2.75, mientras que, la longitud disminuyó y el diámetro aumentó conforme se incrementaron las concentraciones de PBZ. Esta combinación confirió a los botones florales un aspecto robusto y compacto. De manera similar, el peso fresco, los días a floración y el periodo de antesis se incrementaron por las concentraciones de PBZ aplicadas, particularmente con 100 o 200 mg L⁻¹ (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de ocho concentraciones de paclobutrazol (PBZ) en la floración de *Lilium* asiático cv. Litouwen.

Concentraciones de PBZ (mg L ⁻¹)	Botones florales				Días a floración	Periodo de antesis (d)
	Número	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso fresco (g)		
0	2.67 a ^z	68.56 ab	26.40 d	12.21c	87.50 d	4.67 d
2.5	2.33 a	83.11 a	84.8 bc	12.24 c	93.30 cd	6.40 cd
5	2.67 a	68.75 ab	65.99 c	11.98 c	93.14 cd	9.14 bc
10	2.67 a	78.01 a	100.05 ab	14.5 bc	94.50 bc	10.33 bc
20	2.67 a	77.94 a	100.69 ab	12.96 c	94.50 bc	9.83 bc
40	2.33 a	58.32 bc	105.02 a	20.34 ab	100.18 ab	12.55 b
100	3.33 a	54.5 bc	106.83 a	20.79 ab	103.60 a	12.80 b
200	3.33 a	43.87 c	109.00 a	22.46 a	105.00 a	17.75 a
DHS	1.63	17.38	19.25	7.36	6.55	4.46
CV (%)	20.99	15.11	11.56	16.35	4.30	27.65

^zCada dato es el promedio de tres repeticiones \pm error estándar. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

Ranwala *et al.* (2007) y Currey y Lopez (2010) mencionan que, en *Lilium* cv. Ercolano o Nellie White, la aplicación de PBZ en concentraciones que van de 30 a 150 mg L⁻¹ reduce la altura de los tallos sin afectar los días a floración (72.5 o 111 d), el número de botones florales (5.5 en promedio) o el periodo de antesis (7.8 d para *Lilium* cv. Ercolano). En *Lilium* asiático cv. Litouwen, con un gradiente más amplio de PBZ (2.5 a 200 mg L⁻¹) se corrobora que la altura de los tallos florales disminuye y que no hay cambios en el número, pero sí en la longitud y diámetro de los botones florales, haciéndose más compactos conforme se incrementa la concentración de PBZ. Los días a floración son mayores y el periodo de antesis es casi 3 veces mayor comparado con el control (4.67 d), lo que favorece que el estado ornamental se mantenga por más tiempo.

Torres-Pio *et al.* (2021) y Rios-Florida *et al.* (2022) mencionan que los botones florales de *Lilium* cv. Arcachon, Armandale o Tesor, incrementan su peso fresco entre 39 y 55 % con respecto al control (49.6 g) por la aplicación de 25, 50, 100 o 200 mg L⁻¹ de PBZ. De manera similar a lo observado en *Lilium* asiático cv. Litouwen, esta respuesta confiere a los tallos florales un aspecto más llamativo al combinar su altura reducida con igual número de botones florales compactos y estéticos (Figura 13).

7.8 Distribución de biomasa seca (BS)

La biomasa seca de raíces, bulbos o botones florales de *Lilium* asiático cv. Litouwen se incrementó por la aplicación de PBZ. Con 100 o 200 mg L⁻¹, la BS de botones florales, raíces o bulbos fue 2.7, 3.6, 3.9 veces mayor comparado con sus respectivos controles (0 mg L⁻¹). De manera opuesta, la biomasa seca de tallos y hojas disminuyó conforme se incrementó la concentración de PBZ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Biomasa seca de *Lilium* asiático cv. Litouwen cultivado con ocho concentraciones de paclobutrazol (PBZ).

Dosis PBZ (mg L ⁻¹)	Biomasa seca (g)				
	Raíces	Bulbos	Tallo	Hojas	BF
0	0.37 c ^z	0.93 b	2.18 a	1.86 a	1.62 b
2.5	0.79 bc	1.22 b	2.16 a	2.00 a	1.48 b
5	0.7 bc	1.34 b	2.24 a	1.71 a	1.27 b
10	1.18 ab	1.67 b	2.00 a	1.93 a	1.75 ab
20	0.97 ab	1.33 b	1.64 ab	2.00 a	1.48 b
40	1.02 ab	1.88 b	1.32 abc	1.63 ab	1.77 ab
100	1.46 a	3.97 a	0.93 bc	1.10 b	2.5 a
200	1.18 ab	3.41 a	0.54 c	0.35 c	1.86 ab
DHS	0.56	1.04	0.96	0.57	0.88
CV (%)	20.91	18.79	21.02	12.72	18.10

^zCada dato es el promedio de tres repeticiones ± error estándar. Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

BF, botones florales; DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación.

La disminución de BS podría atribuirse a la disminución en la altura de las plantas, tallos más cortos con menor número de hojas tendrán menor biomasa seca comparado con tallos largos y follaje abundante. Al respecto, Carvalho *et al.* (2018) mencionan que en rosa cv. Yellow Terrazza, la aplicación de PBZ disminuye 42 % la biomasa seca de hojas comparado con el control (1.9 g), mientras que la BS de los botones florales se mantiene sin cambios. Similar a lo observado en *Lilium* asiático cv. Litouwen. De manera opuesta, el incremento en la biomasa seca de raíces podría favorecer la absorción de elementos esenciales y mejorar el aspecto visual de los tallos florales comparado con el control, mientras que los bulbos de mayor calibre podrían funcionar como almacenamiento de reservas energéticas y translocarlos hacia la parte aérea de la planta en caso de ser requeridos (Taiz y Zeiger, 2010).

8.0 CONCLUSIONES

La aplicación de 2.5 mg L^{-1} de PBZ no modifica la altura de *Lilium asiático cv. Litouwen*, pero concentraciones entre 5 y 40 mg L^{-1} la reducen entre 23 y 42 %. Con 100 o 200 mg L^{-1} la reducción es de 85 % sin diferencias entre ambas dosis.

Con ecuaciones polinómicas de segundo grado puede predecirse la altura de *Lilium asiático cv. Litouwen* por la aplicación de PBZ.

El número de hojas disminuye conforme se incrementan las concentraciones de PBZ, mientras que, los valores de diámetro del tallo y el índice de verdor aumentan. Los bulbos tuvieron un aspecto similar, pero aplicaciones de 5 a 200 mg L^{-1} de PBZ incrementaron la densidad de raíces, redujeron la altura de los tallos florales e intensificaron el verdor del follaje, confiriéndoles a las plantas un aspecto visual llamativo con posibilidades de ser utilizadas como ornamentales de maceta.

El número de botones florales no se modifica, pero fueron más cortos y gruesos conforme se incrementó la concentración de PBZ. El periodo de antesis se incrementa hasta tres veces por la aplicación de 100 o 200 mg L^{-1} de PBZ.

La biomasa seca de bulbos, raíces o botones florales incrementó por la aplicación de PBZ, mientras que la de tallos y hojas disminuyó.

9.0 LITERATURA CITADA

- Alia, I., L. Valdez, E. Campos, M. Sainz, G. Pérez, M. Colinas, M. Andrade, V. López y A. Alvear. (2011). Efecto de la aspersion de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (3): 577-589. En https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000900014 [Última consulta, 20 de diciembre de 2022].
- Berova, M. y Z. Zlatev. (2000). Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Plant Growth Regulation*. 30(2): 117-132. En: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006300326975> [Última consulta, 11 de enero de 2023].
- Berova, M. y Z. Zlatev. (2003). Physiological response of paclobutrazol-treated triticale plants to water stress. *Biologia Plantarum*. 46(1):131-136. En: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1022360809008> [Última consulta, 11 de enero de 2023].
- Boaretto, U., P. Winckler, R. Winckler, D. Westphalen y R. Bezerra. (2018). Cuttings of *Euphorbia phosphorea* Mart and *Euphorbia enterophora* Drake at different concentrations of índole-butyric acid and analysis of economic viability. *Ornameental Horticulture*. 25(3): 314-323. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v25i3.1985>
- Cadahía, C. (2005). *Fertirrigación Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. (3ª ed.). España: Ediciones Mundi-Presa.
- Carrillo, D. (2017). Determinación de la calidad de *Lilium* (*Lilium* spp.) de corte con fertilización orgánica en invernadero. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. 70 pp.
- Carvalho, M., L. Zaňao, J. Saraiva y Pereira, N. (2018). Potted rose cultivars with paclobutrazol drench applications. *Ciencia Rural*. 48(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161002>

- Carver, S., M. Arnold, D. Byrne, A. Armitage, D. Lineberger y A. King. (2014). Growth and flowering responses of sea marigold to daminozide, paclobutrazol, or uniconazole applied as drenches or sprays. *J. Plant Growth Regul.* [http://doi.org/ 10.1007/s00344-014-9411-7](http://doi.org/10.1007/s00344-014-9411-7)
- Chaudhary, N., S. Sindhu, R. Kumar, T. Saha, D. Raju, A. Arora y R. Sharma. (2018). Effect of growing media composition on growth, flowering and bulb production of LA hybrid (Red Alert) and Oriental (Avocado) group of *Lilium* under protected condition. *Indian Journal of Agricultural Sciences.* 88(12): 35-39. <http://doi.org/10.56093/ijas.v88i12.85430>
- Conti, L., P. Frangi y P. Verga. (1991). Paclobutrazol-controlled height of potted *Lilium* cultivars. *Advances in Horticultural Science.* 5(2):83-84. <http://doi.org/10.1400/14010>.
- Currey, C. y R. Lopez. (2010). Paclobutrazol pre-plant bulb dips effectively control height of 'Nellie White' easter lily. *Hortechology.* 20(2):357-360. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.357>.
- Demir, S. y Celikel, F. (2019). Plant height control of *Hyacinthus orientalis* by gibberellin inhibitors. *AGROFOR International Journal.* 4(2): 86-94. <http://doi.org/10.7251/AGRENG1902085D>.
- Dhiman, M. (2011). Paclobutrazol pre-plant bulb dips effectively control height of "Cilesta" LA hybrid. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences.* 3(1): 119-122. En: <https://www.cibtech.org/J-LIFE-SCIENCES/PUBLICATIONS/2011/Vol%201%20No%203/18%20%20MS%20JLS-01-03-030%20Diman%20lilium.pdf> [Última consulta, 27 de noviembre de 2022].
- Du, Y., C. Wei, Z. Wang, S. Li, H. He y G. Jia. (2014). *Lilium* spp. pollen in China (Liliaceae): taxonomic and phylogenetic implications and pollen evolution related to enviromental conditions. *PLoS ONE.* 9(1). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0087841>
- Evans, M. y R. Beck. (2007). Production of hybrid asiatic and oriental lilies. University of Florida. En:

- <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/46/13/00001/CN00300.pdf> [Última consulta, 18 de Agosto de 2022].
- Facchinetti, C. y P. Marinangeli. (2008). Avances en la producción nacional de bulbos de liliium. *AgroUNS*. 5(9): 5:9. En: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/26970/CONICET_Digital_Nr_o.92b341f1-3e2b-4a91-8587-f6f8711aee04_D.pdf?sequence=5 [Última consulta, 2 de septiembre de 2022].
- Ferrara, G., A. Mazzeo, A. Stella, C. Pacucci, A. Pacifico, G. Gambacorta, M. Faccia, A. Trani, V. Gallo, I. Cafagna y P. Mastrorilli. (2013). Application of abscisic acid (S-ABA) to ‘Crimson Seedless’ grape berries in a mediterranean climate: effects on color, chemical characteristics, metabolic profile, and S-ABA concentration. *J. Plant Growth Regulator*. 32: 491-505. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9316-2>
- Fishel, F. (2018). Plant growth regulators. University of Florida.
- Fletcher, A. y A. Gilley. (2000). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews*. 24:55-138. <https://doi.org/10.1002/9780470650776.ch3>.
- Flores, J. (2013). Producción hidropónica de *Lilium* (*Lilium sp.*) var “Marlon” en el municipio de Zumpango, Estado de México. Tesis de Pregrado. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Francescangeli, N. y P. Marinangeli (2018). Guía práctica para el cultivo de flores y bulbos de *Lilium*. En: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_guia_para_cultivo_lilium.pdf [Última consulta, 13 de septiembre de 2022].
- Francescangeli, N., P. Marinangeli y N. Curvetto. (2007). Short communication. Paclobutrazol for height control of two *Lilium* L.A. hybrids grown in pots. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 5(3):425-430. <https://doi.org/10.5424/sjar/2007053-266>.
- Frausto, K., C. Ojeda, O. Alvarado, E. García, H. Rodríguez y G. Rodríguez. (2019). Inducción de brotes a partir de varas florales de orquídea *Phalaenopsis* spp.

- (Blume) *in vitro*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10(6): 1207-1218. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.608>.
- García, O., E. Dueñez, G. Fischer, B. Chavez y O. Quintero. (2008). Efecto del nitrato de potasio, fosfato de potasio y etephon en la inducción floral de la feijoa o goiabeira serrana (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). Rev. Bras. Fructic. 30(3): 577-584. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000300003>.
- García, R. y Companioni, B. (2018). Liliium: situación actual en México. Revista TECSISTECATL. En: <https://www.eumed.net/rev/tecsistecat/n23/lilium.html> [Última consulta, 2 de septiembre de 2022].
- Ghetti, T. (2015). Respuesta de *Lilium longiflorum* x asiático "Litouwen" y *Lilium oriental* x trompeta "Donato" a la fertilización foliar complementaria a fertirrigación. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina.
- Grassotti, A. y F. Gimelli. (2011). Bulb and cut flower production in the genus *Lilium*: current status and the future. Acta Horticulturae. 900:21-36. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.900.1>
- Guerrero, C. (2022). Efecto del ácido giberélico en el crecimiento, distribución de biomasa y anatomía de *Lisianthus Mariachi Blue*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hedden, P. y S. Thomas. (2012). Gibberellin biosynthesis and its regulation. Biochem. J. 444:11-25. <http://doi.org/10.1042/BJ20120245>.
- Iglesias, D. y M. Talón. (2013). Giberelinas. En Azcón-Bieto, J. y M. Talón (Ed.), Fundamentos de fisiología vegetal (399-320). Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España, S.L.
- Ikinci, N., C. Oberprieler y A. Güner. (2006). On the origin of European lilies: phylogenetic analysis of *Lilium* section Liriotypus (Liliaceae) using sequences of the nuclear ribosomal transcribed spacers. Botanic Garden and Botanical Museum Berlin. 36(2):647-656. <https://doi.org/10.3372/wi.36.36201>
- Jaleel, A. P. Manivannan, B. Sankar, A. Kishorekumar, S. Sankari, R. Panneerselvam. (2007). Paclobutrazol enhances photosynthesis and

- ajmalicine production in *Catharanthus roseus*. *Process Biochemistry*. 42: 1566-1570. <http://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.08.006>
- Jiao, J., M. Tsujita y D. Murr. (1986). Effects of paclobutrazol and a-rest on growth, flowering, leaf carbohydrate and leaf senescence in 'Nellie White' easter Lily (*Lilium longiflorum* Thunb.). *Scientific Horticulturae*. 30: 135-141. [http://doi.org/10.1016/0304-4238\(86\)90089-0](http://doi.org/10.1016/0304-4238(86)90089-0).
- Jordán, M. y J. Casaretto. (2006). Hormonas y reguladores del crecimiento: auxinas, giberelinas y citocininas. En F. Sque & L. Cardemil (Ed.). *Fisiología Vegetal*. Chile: Ediciones Universidad de La Serena.
- Kim, J., S. Lee, B. Kim, I. Choi, P. Ryser, N. Kim. (2017). Chloroplast genomes of *Lilium lanciflorum*, *L. amabile*, *L. callosum*, and *L. philadelphicum*: molecular characterization and their use in phylogenetic analysis in the genus *Lilium* and other allied genera in the orden Liliales. *PLoS ONE*. 12(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186788>
- Larcher, F., A. Berruti, P. Gullino y V. Scariot. (2011). Reducing peat and growth regulator input in camellia pot cultivation. *Hort. Sci*. 38:35–42. <https://doi.org/10.17221/70/2010-HORTSCI>.
- Lailaty, I. y L. Hartanto. (2021). Vegetative anatomy of three potted Chrysanthemum varieties under various paclobutrazol concentrations. *Biodiversitas*. 22(2): 563-570. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220207>
- Latimer, J. y J. Freeborn. (2011). Height control of potted aurelian and tiger lilies. *Acta Horticulturae*. 133-138. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.900.15>
- Lim, K., R. Barba-Gonzalez, S. Zhou, M. Ramanna y J. Tuyl. (2008). Interspecific hybridization in lili (*Lilium*): taxonomic and commercial aspects of using species hybrids in breeding. *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: advances and topical issues*. 5: 146-151. En: <https://research.wur.nl/en/publications/interspecific-hybridization-in-lily-lilium-taxonomic-and-commerci> [Última consulta, 11 de enero de 2023].
- Matsumoto, T. (2006). Gibberellic acid and benzyladenine promote early flowering and vegetative growth of *Miltoniopsis* orchid hybrids. *HortScience*. 41(1): 131-135. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.1.131>.

- Miller, W., A. Chang, G. Legnani, N. Patel, A. Ranwala y M. Reitmeier. (2002). Pre-plant bulb dips for height control in LA and Oriental hybrid lilies. *Act. Hort.* 570:351-357. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.570.49>
- Pelkonen, V. (2005). *Biotechnological approaches in Lily (Lilium) production*. Oulu, Finlandia: Oulu University Press. En: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9514276590.pdf> [Última consulta, 11 de enero de 2023].
- Pineda, L. (2020). *Inducción a floración en yuca (Manihot esculenta Crantz)*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia.
- 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. <http://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.501>
- Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of Plant Growth Regulation.* 34: 845-872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
- Rademacher, W. (2016). Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. *Annual Plant Reviews.* 49: 359-403. [doi: 10.1002/9781119312994.apr0541](https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0541)
- Rademacher, W. y L. Brahm. (2015). Plant growth regulators. *Encyclopedia of industrial chemistry.* 27: 573-586. [DOI: 10.1002/14356007.a20_415.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a20_415.pub2)
- Ranwala, A., G. Legnani, M. Reitmeier, B. Stewart y W. Miller. (2002). Efficacy of plant growth retardants as preplant bulb dips for height control in LA and Oriental hybrid lilies. *HortTechnology.* 12(3):426-431. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.12.3.426>.
- Rios-Florida, L., G. De La Cruz-Guzmán, A. Arriaga-Frías y M. Mandujano-Piña. (2022). Efecto de paclobutrazol y *Glomus intraradices* en el cultivo de *Lilium* cv. Armandale y Tesor. *Siembra.* 9(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3978>

- Ríos, G. (2021). Efecto de paclobutrazol y micorrizas en *Lilium* asiático variedades 'Armandale' y 'Tesor'. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 45 pp.
- Runkle, E. (2018). Causes of flower bud abortion. En: <https://www.canr.msu.edu/floriculture/uploads/files/causesflowerabortion.pdf> [Última consulta, 13 de septiembre de 2022].
- Sayed, S., K. Hassan, A. Abdelhamid, E. Yousef, Y. Abdellatif, S. Abu, M. Nasser, W. Elshalakany, D. Darwish, A. Abdulmajeed, S. Alabdallah y S. Al-Qahtani. (2022). Exogenous paclobutrazol reinforces the antioxidant and antimicrobial properties of lavender (*Lavandula officinalis* L.) oil through modulating its composition of oxygenated terpenes. *Plants*. 11(1607). <https://doi.org/10.3390/plants11121607>.
- Saxena, S., N. Kaushik y R. Sharma. (2008). Effect of abscisic acid and proline on in vitro flowering in *Vigna aconitifolia*. *Biologia Plantarum*. 52(1): 181-183. <https://doi.org/10.1007/s10535-008-0040-5>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola 2021. En: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [Última consulta, 29 de agosto de 2022].
- Sharma, P., Sharma, Y. y Gupta, Y. (2009). Effect of paclobutrazol and benzyl adenine on oriental lily hybrids. *Journal of Horticultural Sciences* 4(2): 128-133. En <https://jhs.iihr.res.in/index.php/jhs/article/view/529> [Última consulta, 1 de diciembre de 2022].
- Situma, M., M. Mwangi y R. Mulwa. (2015). Effects of benzyl adenine and gibberellic acid pre-treatments on dormancy release, flowering time and multiplication of oriental lily (*Lilium longiflorum*) bulbs. *Journal of Applied Horticulture*. 17(1):26-30. <https://doi.org/10.37855/jah.2015.v17i01.06>
- Soumya, P., P. Kumar y M. Pal. (2017). Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. *Ind. J. Plant Physiol.* 22:267-278. <https://doi.org/10.1007/s40502-017-0316-x>.
- Sourati, R., P. Sharifi, M. Poorghasemi, E. Vieira, A. Seidavi, N. Anjum, Z. Sehar y A. Sofo. (2022). Effects of naphthaleneacetic acid, indole-3-butyric acid and

- zinc sulfate on the rooting and growth of mulberry cuttings. *Int. J. Plant Biol.* 13: 245-256. <https://doi.org/10.3390/ijpb13030021>
- Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15(2): 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Taiz, L. y E. Zeiger. (2010). *Plant physiology* (5ª ed.). Sunderland, Massachusetts.
- Tsegaw, T., S. Hammes y J. Robbertse. (2005). Paclobutrazol-induced leaf, stem, and root anatomical modifications in potato. *HortScience.* 40(5): 1343-1346. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.5.1343>.
- Torres-Pio, K. G. De la Cruz-Guzmán, L. Arévalo-Galarza, S. Aguilar-Rodríguez, D. Grego-Valencia, A. Arriaga-Frias y M. Mandujano-Piña. (2021). Morphological and anatomical changes in *Lilium* cv. Arcachon in response to plant growth regulators. *Hortic. Environ. Biotech.* 62: 325-335. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00319-6>
- Tropicos. (2022). *Lilium longiflorum* Thunb. En: <https://www.tropicos.org/name/18400675> [Última consulta, 2 de septiembre de 2022].
- Xia, X., Y. Tang, M. Wei, y D. Zhao. (2018). Effect of paclobutrazol application on plant photosynthetic performance and leaf greenness of herbaceous peony. *Horticulturae.* 4(1). <https://doi.org/10.3390/horticulturae4010005>.
- Yamaguchi, S. (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 225-251. En: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18173378/> [Última consulta, 8 de enero de 2023].
- Yembaturova, E. y A. Korchagina. (2011). Stem and leaf anatomy of highly ornamental representatives of the genus *Lilium*. *Acta Hort.* 900(900):43-51. <http://10.17660/ActaHortic.2011.900.3>
- Zagabria, A., N. Francescangeli y L. Mascarini. (2006). Distintas formas y momentos de aplicación de paclobutrazol y sus efectos en características vegetativas y de floración de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Información Técnica Económica Agraria.* 102(4):373-385. En: <https://www.aida-itea.org/aida->

[itea/files/itea/revistas/2006/102-4/373-385 ITEA 102-4.pdf](#) [última consulta, 1 de diciembre de 2022].

Zahir, M., M. Saleem, Z. Ahmad, M. Yaseen, M. Naveed, M. Yahya, Y. Hamid, H. Tanvir y M. Ahmed. (2015). Effect of ethylene on growth, nodulation, early flower induction and yield in mungbean. International Journal of Scientific & Engineering Research. 6(3): 1210-1224. En https://www.researchgate.net/publication/274962991_Effect_of_ethylene_on_growth_nodulation_early_flower_induction_and_yield_in_mungbean [Última consulta, 23 de diciembre de 2022].