



**Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Estudios Superiores**

IZTACALA

**EFFECTO DEL ÁCIDO GIBERÉLICO EN EL CRECIMIENTO,
DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA Y ANATOMÍA DE LISIANTHUS
MARIACHI BLUE**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

PRESENTA

CLAUDIA VALERIA GUERRERO JUÁREZ

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

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 2022.





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.

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos, perritos, tías, primos, sobrinos, amigos y compañeros de estudio a todos ellos quiero dedicarles y agradecerles con todo mi amor y cariño por siempre acompañarme, apoyarme, alentarme, orientarme y por siempre permitirme ser mejor persona. Gracias por lo que hemos logrado.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM

Quiero agradecer a la máxima casa de estudios, la cual me brindó la oportunidad de desarrollarme académicamente como culturalmente permitiéndome conocer y vivir todo lo que rodea a esta gran institución.

A mis padres Adela y Agustín

Les agradezco infinitamente porque gracias a todo su amor, apoyo, consejos, esfuerzos y sacrificios hechos por mi durante mi formación profesional no fueran en vano y llegara a realizar la más grande de mis metas, ser Bióloga. La cual constituye la herencia más valiosa que pudieran darme y por lo cual les viviré eternamente agradecida. Soy una persona privilegiada de haberlos tenido a mi lado siempre y más aún en épocas de estudios universitarios. Con cariño, admiración y respeto Vale.

A mis hermanos Evelyn, Charly y Edgar

Por haber sido mi motivación desde que inicie la carrera, escucharme, tenerme paciencia, ir a dejarme a mis prácticas de campo y laboratorio en tiempos de pandemia, apoyarme en la edición de varias imágenes utilizadas en esta tesis y en otros proyectos a pesar de que lo pedía sin tanto tiempo de anticipación.

A mi tutor, Dr. Gumerciendo H. De la Cruz Guzmán

Por ser un extraordinario profesor y ser humano en compartir conmigo sus conocimientos, así como también haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia y sabiduría. Por apoyarme, alentarme, confiar en mí y escucharme con cada obstáculo que se me presentaba no solo formativa, si no también personal. Como dijo Albert Einstein “El arte supremo del profesor es despertar la alegría en la expresión creativa y del conocimiento.” ¡Gracias por despertarme esa alegría! Se le estima mucho profesor.

A mis sinodales, Dra. Sandra Luz Gómez Acevedo, Dra. Silvia Aguilar Rodríguez, M.C. Dalia Grego Valencia y M.C. Alberto Arriaga Frías, por sus comentarios acertados en la revisión de este trabajo.

A la Dra. Silvia Aguilar Rodríguez y M.C. Dalia Grego Valencia

Por ayudarme en tiempos de pandemia en la preparación de laminillas para la descripción anatómica de los tallos florales de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' tratados con 50 y 150 mg L⁻¹ de AG₃.

A Xochitl Aguilar Ambrosio

Mi amiga y futura Dra. en Dalias gracias por estar conmigo desde el inicio de este bello viaje de la carrera hasta el final y hacer más ameno este recorrido con muchas anécdotas divertidas.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
1.0 RESUMEN.....	1
2.0 INTRODUCCIÓN.....	2
3.0 REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1 Descripción y ubicación taxonómica de Lisianthus.....	4
3.2 El cultivo de Lisianthus.....	6
3.2.1 En el mundo.....	7
3.2.2 En México.....	8
3.2.3 Requerimientos para el cultivo de Lisianthus.....	9
3.3 Reguladores de crecimiento.....	13
3.3.1 Auxinas.....	13
3.3.2 Citocininas.....	15
3.3.3 Acido Giberélico (AG).....	17
3.4 El ácido giberélico (AG ₃) en el cultivo de Lisianthus.....	19
3.4.1 Cambios morfológicos y anatómicos por aplicación de ácido giberélico.....	19
3.4.2 Distribución de biomasa por aplicación de ácido giberélico.....	20
4.0 JUSTIFICACIÓN.....	21
5.0 OBJETIVOS.....	22
5.1 General.....	22
5.2 Particulares.....	22
6.0 HIPÓTESIS GENERAL.....	23
7.0 MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
8.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30

8.1 Fase vegetativa.....	30
8.1.1 Altura de la planta	30
8.1.2 Diámetro del tallo	32
8.1.3 Número de hojas.....	34
8.1.4 Índice de verdor (IV)	36
8.1.5 Apariencia visual de los tallos florales.....	38
8.2 Fase de floración, 160 días después de la siembra (dds)	40
8.2.1 Número de botones florales, yemas vegetativas, nudos y longitud de entrenudos.....	40
8.2.2 Área foliar, área foliar específica (AFE), relación de área foliar (RAF), e Índice de verdor (IV).....	42
8.2.3 Distribución de biomasa seca: Raíz, tallo, hoja y relación raíz/vástago.....	44
8.2.4 Anatomía cuantitativa de los tallos florales.....	46
9.0 CONCLUSIONES	47
10.0 LITERATURA CITADA	48
11.0 LITERATURA DE INTERNET	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto de plantas silvestre de <i>Lisianthus</i> (https://www.naturalista.mx/taxa/128610-Eustoma-grandiflorum).....	4
Figura 2. Estructuras florales de <i>Lisianthus</i> . A. Variedad 'Mariachi Carmine' (p , pétalos) B. Variedad 'Mariachi Blue Picotee' (s , sépalos; es , estigma; o , ovario) (Fotografías: Mauricio Castillo-Colli, tomada de Padrón-Chan <i>et al.</i> , 2021).	5
Figura 3. Flores de <i>Lisianthus</i> . A, 'Mariachi Blue Picotee'; B, 'Mariachi Blue'; C, Corelli Delf Blue; D, Mariachi Carmine; E, Echo Champagne; F, ABC Lavanda. (Fotografías: Alecsis Padrón-Chan, tomada de Padrón-Chan <i>et al.</i> , 2021).	6
Figura 4. Países en el mundo productores de <i>Lisianthus</i>	7
Figura 5. Estados productores de <i>Lisianthus</i> en la República Mexicana.	8
Figura 6. Etapas de crecimiento en el cultivo de <i>Lisianthus</i> . Tomado de Cultivo de <i>Lisianthus</i> (p. 6), por Ávila y Pereyra, 2015, PROGRAMA PROTRI.	9
Figura 7. Planta de <i>Lisianthus</i> arrosada. Tomado de <i>Cultivo de Lisianthus</i> (p. 6), por Ávila y Pereyra, 2015, PROGRAMA PROTRI.	11
Figura 8. Biosíntesis del Ácido 3-indol-acético a partir del triptófano (http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609)	14
Figura 9. Estructura de citocininas sintéticas (http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609).....	15
Figura 10. Biosíntesis de las citocininas a partir dimetilalil pirofosfato y adenosina tri o difosfato. Imagen modificada de Kieber y Schaller, (2018).....	16
Figura 11. Ruta de biosíntesis de las giberelinas activas. Imagen modificada de Taiz y Zeiger (2010). (https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/11/tema-10-giberelinas.pdf).	18
Figura 12. Altura de <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L ⁻¹) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.	30

Figura 13. Diámetro del tallo de <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L^{-1}) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.	32
Figura 14. Número de hojas de <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L^{-1}) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.	34
Figura 15. Índice de verdor de <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L^{-1}) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.	36
Figura 16. Apariencia visual, en tres tiempos diferentes, de <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características morfométricas evaluadas en <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue'	40
Cuadro 2. Variables evaluadas en <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.	42
Cuadro 3. Distribución de biomasa seca en <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.	44
Cuadro 4. Atributos anatómicos evaluados en la parte media de tallos florales de <i>Lisianthus</i> 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico. ...	46

1.0 RESUMEN

Lisianthus es una ornamental atractiva al consumidor. Durante su cultivo, temperaturas mayores de 25 °C provocan achaparramiento del tallo y disminución del número de botones por tallo floral. La aplicación de ácido giberélico puede mejorar estos aspectos. Se evaluó el efecto de cinco concentraciones de ácido giberélico (AG₃) en el crecimiento y la floración de *Eustoma grandiflorum* 'Mariachi Blue'. Las unidades experimentales se conformaron al colocar tres plántulas por maceta con 2.5 L de tezontle. Los tratamientos con 15 repeticiones fueron: 0, 25, 50, 100 y 150 mg L⁻¹ de AG₃ (Activol® 40 %, Valent BioSciences, USA) y se aplicaron de manera foliar dos veces por semana. Durante la fase vegetativa se evaluó: altura de la planta; diámetro del tallo (DT); número de hojas (NH); índice de verdor (IV) y apariencia visual de los tallos florales. En la fase de floración: número de botones florales; yemas vegetativas y nudos; longitud de entrenudos; área foliar (AF); área foliar específica (AFE); relación área foliar (RAF); índice de verdor; distribución de biomasa seca y relación raíz/vástago (R/V). En la parte media del tallo floral se tomaron muestras para evaluar grosor de la cutícula, capas de parénquima, área de xilema, número de vasos solitarios y agrupados del tallo en los tratamientos 0, 50, y 150 mg L⁻¹ de AG₃. Con Excel, los datos se procesaron con estadística descriptiva, medidas de tendencia central y de dispersión. Con el Software SAS 9.0® para Windows se realizó análisis de varianza de un factor y pruebas de comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). De manera general, la aplicación de ácido giberélico incrementó la altura de la planta, el número de hojas, índice de verdor en la fase de floración, número de botones florales, yemas vegetativas, nudos y la longitud de entre nudos, peso seco del tallo, grosor de cutícula, área del xilema y número de vasos solitarios.

Palabras claves: Altura de la planta, área foliar, índice de verdor, número de botones florales, número de hojas.

2.0 INTRODUCCIÓN

Lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinnery], es una planta ornamental atractiva al consumidor debido a su variedad de colores y al número de botones por tallo floral. La apertura de los botones que va uno detrás del otro, hace que el periodo de floración sea mayor y atractiva. La tonalidad gradual de la apertura del botón, que comienza de color verde y a medida que pasa el tiempo va cambiando a su color original; es una característica propia de Lisianthus no ocurre, por ejemplo, en rosa que es una de las flores más consumidas y conocidas en el mundo (Papone, 2011).

Durante su cultivo, Lisianthus se desarrolla mejor con fotoperiodo largo, ya que la calidad y cantidad de flores por planta es mayor que con días cortos (Menglares, 1996). Durante su fase de plántula es sensible a temperaturas altas porque requiere temperaturas entre 23 y 25 °C durante el día y entre 18 y 20 °C durante la noche (Verdugo, 2007). Si las temperaturas se incrementan por arriba de estos intervalos se reduce la altura del tallo floral y se inhibe la floración (Menglares, 1996). Harbaugh (1995), evaluó el efecto de la temperatura (28 °C) en el arrosetamiento del tallo en tres variedades de Lisianthus ('Yodel White', 'Yodel Pink' y 'Greg Blue') durante 28 días. Las variedades dieron como resultado 96, 93 y 18 % de plantas en roseta comparadas con el control que se mantuvo entre 23 y 25 °C. En la horticultura ornamental se utilizan reguladores del crecimiento para modificar la estructura de las plantas. El ácido giberélico (AG) que proviene de la transformación del geranilgeranil difosfato a ent-kaureno en los proplastidios de los meristemos, presentan reacciones oxidativas para la formación de AG₁₂-aldehído. En el citoplasma, el AG₁₂-aldehído es oxidado para formar giberelinas que estimulan la división celular en los meristemos caulinares y, por ende, promueve la elongación de los tallos (Bearder *et al.*, 1974). Alia-Tejacal *et al.* (2011) evaluaron las concentraciones 0, 2, 4, 6, 8 y 10 mg L⁻¹ de AG₃ en cinco variedades de *Euphorbia pulcherrima* (nochebuena): 'Sonora', 'Da vinci', 'Freedom white', 'Freedom red' y 'Festival red'. Todas las variedades presentaron alturas de 24.3 a 25.1 cm, cuando las concentraciones fueron 4, 6, 8 y 10 mg L⁻¹ mientras que la altura del control fue 20.3 cm. Las variedades presentaron de 7.3 a 6.8 botones florales y concentración de clorofila de 58.7 a 59.9 mg g⁻¹ en todas las concentraciones junto con el control. En otro estudio realizado por Fernández *et al.* (2008) evaluaron el efecto foliar de tres concentraciones de AG₃ (125, 250, 500 mg L⁻¹) en la

altura del tallo de *Iris lutescens* (lirio enano de monte). Con la aplicación de 125 y 250 mg L⁻¹ de AG la altura de las plantas fue 18.2 cm mayor comparada con el control que fue de 14.4 cm. Las concentraciones de 250 y 500 mg L⁻¹ presentaron mayor porcentaje de floración (80 a 100 %) mientras que el control fue menor (65 %). En *Rosa hybrida* 'Lovely Red' y 'Rouge Baiser' el número de vasos por milímetro cuadrado fue de 267 y 308, siendo la mayoría vasos solitarios (Cohen *et al.*, 2012).

Aunque los tallos de *Lisianthus* tienen una gran importancia económica por su variedad de colores, la estética del tallo floral y el verdor de su follaje entre otros aspectos morfológicos, en la literatura no se han encontrado trabajos que evalúen el crecimiento, la distribución de biomasa y la anatomía de *Lisianthus* con la aplicación de ácido giberélico, por lo que resulta importante realizar este tipo de investigaciones.

3.0 REVISION DE LITERATURA

3.1 Descripción y ubicación taxonómica de Lisianthus

Lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinnery], es una planta herbácea de ciclo anual o bianual, angiosperma y dicotiledónea, que pertenece a la familia Gentianaceae. Forma una roseta de hojas, sobre las cuales se desarrolla un tallo monopodial rígido de 40 a 50 cm (en forma silvestre) y 60 a 90 cm (domesticada) de largo, que se ramifica apicalmente donde aparecen las flores largamente pediceladas, de 6 a 9 cm de diámetro y 7 a 10 cm de largo. Las flores de las plantas silvestre presentan colores entre el azul y el púrpura, pero los híbridos tienen una amplia gama de colores (Melgares de Aguilar 1996; De la Riva-Morales *et al.*, 2013) (Figura 1).



Figura 1. Aspecto de plantas silvestre de Lisianthus (<https://www.naturalista.mx/taxa/128610-Eustoma-grandiflorum>).

Los botones florales presentan cáliz de cinco sépalos, verdes, discretos y filiformes. Una corola con cinco o más pétalos que generalmente son de textura suave. El androceo presenta cinco o seis estambres aproximadamente. El gineceo consta de un ovario unicelular con dos estigmas (Padrón-Chan *et al.*, 2021) (Figura 2).

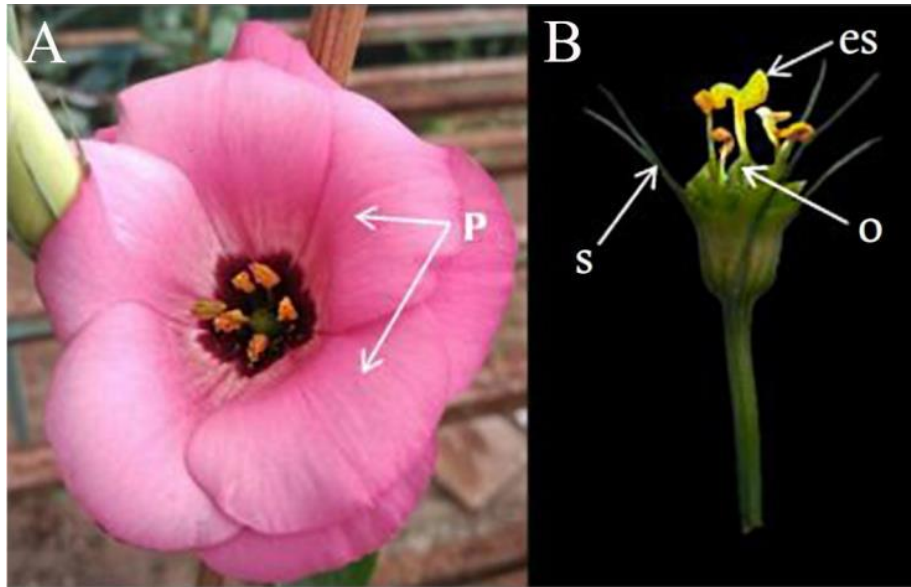


Figura 2. Estructuras florales de Lisianthus. **A.** Variedad 'Mariachi Carmine' (p. pétalos) **B.** Variedad 'Mariachi Blue Picotee' (s, sépalos; es, estigma; o, ovario) (Fotografías: Mauricio Castillo-Colli, tomada de Padrón-Chan *et al.*, 2021).

Lisianthus se ubica taxonómicamente como:

Clase: Equisetopsida C. Agardh

Subclase: Magnoliidae Novák ex Takht.

Superorden: Asteranae Takht.

Orden: Gentianales Juss. ex Bercht. & J. Presl

Familia: Gentianaceae Juss.

Género: *Eustoma* Salisb.

Especie: *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinnery

<http://legacy.tropicos.org/name/13800531>.

3.2 El cultivo de Lisianthus

Lisianthus es una planta ornamental atractiva que ha cobrado relevancia internacional en la última década por características distintivas de pétalos (sencillos o dobles), tamaño (grande, mediana, pequeña) y forma de la flor (rizado, semi-rizado, en forma de rosa), de las cuales derivan las variedades o colores en los pétalos (un color, dos colores, márgenes de color distinto) y diversidad de colores en sus flores, aunado a que posee una excelente vida postcosecha de hasta 21 días, además de que puede tener hasta 10 flores por tallo y dependiendo si la planta es anual o bianual puede producir hasta 10 inflorescencias por temporada (Figura 3). No obstante, a pesar de ser originaria de México, en el país no se ha detonado su cultivo, el cual podría representar una alternativa para consolidar la floricultura nacional (Cho *et al.*, 2001; Harbaugh, 2007; Fernández-Pavía y Trejo-Téllez, 2018; Padrón-Chan *et. al*, 2021).



Figura 3. Flores de Lisianthus. A, 'Mariachi Blue Picotee'; B, 'Mariachi Blue'; C, Corelli Delf Blue; D, Mariachi Carmine; E, Echo Champagne; F, ABC Lavanda. (Fotografías: Alecsis Padrón-Chan, tomada de Padrón-Chan *et al.*, 2021).

3.2.1 En el mundo

Lisianthus es una planta ornamental introducida en los años 30 en Europa (Holanda, Italia, España y Francia) y Japón (Halevy y Kofranek, 1984; Ecker *et al.*, 1994). Se ha ubicado rápidamente entre las principales flores de corte a nivel global (Harbaugh, 2007). El interés por Lisianthus se atribuye a los variados y atractivos colores de sus flores que van desde blanco, verde, amarillo, rosa, lila, púrpura y en ocasiones bicolor; con flores simples o dobles (con dos o tres filas de pétalos); longitud de tallo entre 60 a 90 cm; la longitud y el diámetro de sus flores son de 7 a 10 cm y de 6 a 9 cm respectivamente. Esto se debe a los programas de mejoramiento genético realizado por empresas japonesas (Halevy y Kofranek, 1984; Melgares de Aguilar, 1996; Dole y Wilkins, 2005). Los países de América que cultivan Lisianthus son Chile, Argentina, México y Estados Unidos, siendo este último uno de los principales productores junto con Holanda y Japón (Melgares de Aguilar, 1996; Avila *et al.*, 2007). En 2012, la superficie sembrada de Lisianthus fue de 435, 130 y 45 ha en Japón, Taiwán y Países Bajos respectivamente (Hanks, 2015) (Figura 4).

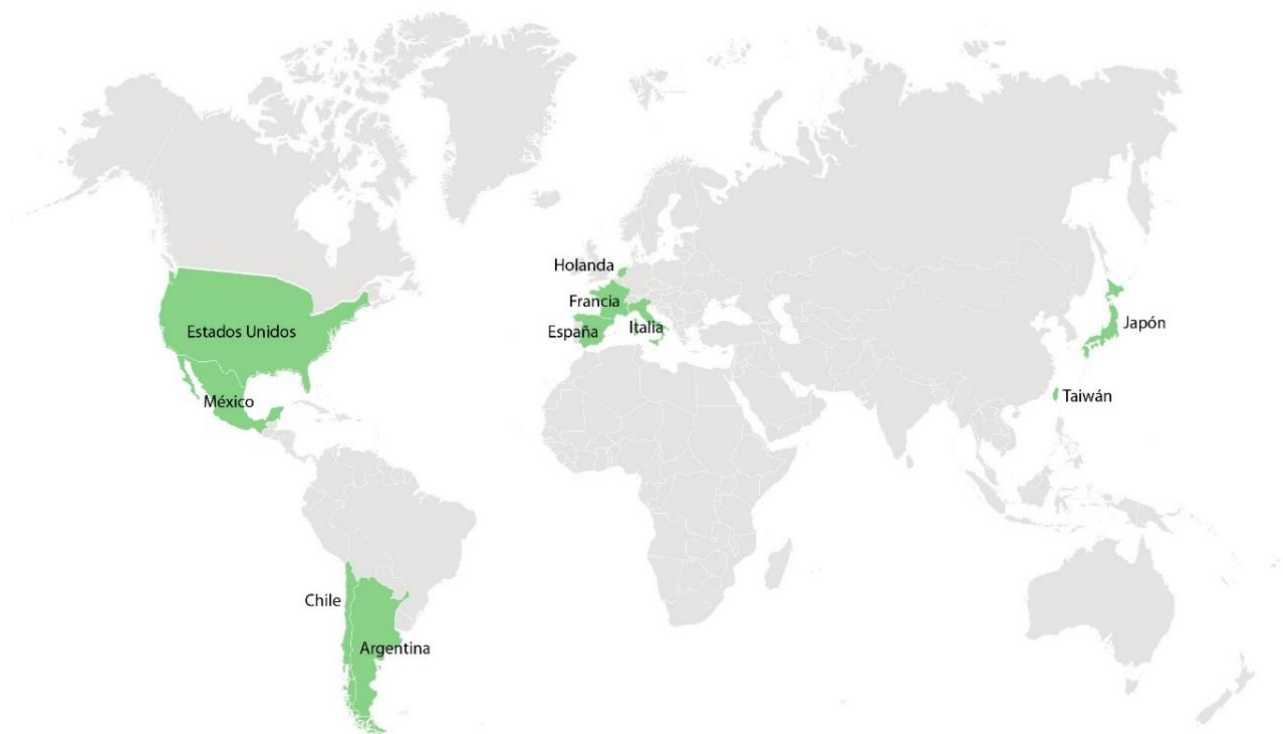


Figura 4. Países en el mundo productores de Lisianthus.

3.2.2 En México

Lisianthus es una planta nativa del sur de Estados Unidos, que habita en las praderas húmedas de Nebraska, Colorado, Texas y norte de México (Huxley *et al.*, 1992). Las flores de las plantas nativas presentan colores azul y morado, pero los híbridos tienen una gran gama de colores (Dole y Wilkins, 2005). En México es poco conocido, entre otros aspectos porque la superficie de su cultivo disminuyó de 20 a 4 ha de 2006 a 2010, por el poco interés de los productores y por la escasa información para su explotación. En México, los principales sitios de producción de Lisianthus son Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla; y Guadalajara, Jalisco (Figura 5) (Cruz *et al.*, 2006; SAGARPA-SICDE, 2010).



Figura 5. Estados productores de Lisianthus en la República Mexicana.

3.2.3 Requerimientos para el cultivo de Lisianthus

Inicialmente crece en forma de roseta, de la cual se desarrolla un vástago con hojas opuestas. El tallo principal produce una flor terminal, mientras que otras flores continúan desarrollándose en las ramas secundarias (Domínguez, 2002; Padrón-Chan *et al.*, 2021). El cultivo de Lisianthus pasa por tres etapas claramente diferenciadas (Melgares de Aguilar, 1996): 1) etapa vegetativa, que se caracteriza por un lento crecimiento de la parte aérea (solo 4 a 5 pares de hojas) y crecimiento radicular intenso. Dura entre 20 y 30 días dependiendo de las condiciones ambientales; 2) elongación, el tallo se alarga de 30 a 50 cm, dura aproximadamente 30 días; y 3) floración, aparecen entre 4 y 10 botones por tallo floral, se alargan los pedúnculos florales hasta alcanzar la altura definitiva, viran del color verde al definitivo y se abren las flores (Figura 6).



Figura 6. Etapas de crecimiento en el cultivo de Lisianthus. Tomado de Cultivo de Lisianthus (p. 6), por Ávila y Pereyra, 2015, PROGRAMA PROTRI.

Suelo. Lisianthus es una planta poco exigente en cuanto a suelo se refiere. En general, requiere terrenos de textura suelta con un alto contenido de arena y materia orgánica, que le proporcione buen drenaje, evitando el encharcamiento, lo que suele favorecer la aparición de enfermedades causadas por hongos como *Rhizoctonia*, *Phytophthora* y *Fusarium*. El pH del suelo para el cultivo de Lisianthus puede oscilar entre 6.5 y 7.5, soporta altas concentraciones de sales cuando son arenosos y porosos, siendo su óptima conductividad eléctrica (CE) de 1 mmhos cm^{-1} . Se recomienda que en el trasplante haya una separación de 15 x 15 cm entre una plántula y otra (Verdugo, 2007). Salazar (2008) indica que durante el trasplante se deben evitar altas densidades por metro cuadrado, esto evitará el crecimiento de plantas con tallos débiles y delgados que no soporten el peso de las flores; las distancias empleadas oscilan entre 10 y 15 cm, tomando en cuenta que a mayor distancia se formarán tallos más robustos.

Humedad relativa (HR) y riego. La Humedad relativa es la relación existente entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la cantidad total de vapor de agua que cabe en el aire si estuviera saturado y se expresa en porcentaje (%) (Tejeda- Martínez *et al.*, 2018). Humedades relativas $\leq 60\%$ promueven la apertura estomática, el intercambio gaseoso y disminuyen la aparición de enfermedades fúngicas como *Botrytis* (Dole y Wilkins, 2005). Dado que la HR está estrechamente relacionada con la temperatura (cuando la temperatura aumenta la HR disminuye), en verano será necesario bajar la temperatura ambiental o incrementar artificialmente la HR mediante el mojado de pasillos o instalación de nebulizadores en el interior del invernadero (Ávila y Pereyra, 2015). Con respecto al riego, es necesario considerar el índice de salinidad, la cantidad de carbonatos y bicarbonatos presentes y la cantidad de agua que debe agregarse al cultivo. No se recomienda regar con aguas con más de 1.5 mmhos cm^{-1} . En lo referente a la cantidad o volumen, es necesario tener en cuenta el consumo de agua de la planta y la evaporación del suelo, por lo que, en verano, cuando las temperaturas son más elevadas, el consumo de agua será superior al que se registra durante el invierno. Sin embargo, como regla general se puede decir que el suelo debe estar siempre húmedo o a su capacidad de campo (Reed, 1999).

Temperatura. La mayoría de los procesos fisiológicos que se realizan para el crecimiento y desarrollo de las plantas están fuertemente influenciados por la temperatura ya que controla reacciones químicas involucradas en varios procesos de crecimiento dentro de la planta. La solubilidad de minerales, la absorción de agua y nutrimentos, el intercambio de gases y varios procesos de difusión dependen también de la temperatura (Ortiz, 1987). En *Lisianthus*, la temperatura es importante en el periodo que va desde la siembra a la formación del cuarto par de hojas, en esta fase, se deben asegurar temperaturas de 23 a 25 °C en el día y de 18 a 20 °C durante la noche. A partir de ese momento la sensibilidad de la planta a las altas temperaturas parece disminuir. Sin embargo, temperaturas diurnas entre 30 y 35 °C y nocturnas entre 20 y 25 °C provocan la formación de tallos en forma de “roseta”, lo que ocasiona que la floración se retrase o se inhiba (Melgares de Aguilar, 2002) (Figura 7).



Figura 7. Planta de *Lisianthus* arrossetada. Tomado de *Cultivo de Lisianthus* (p. 6), por Ávila y Pereyra, 2015, PROGRAMA PROTRI.

Temperaturas entre 5 y 20 °C son las más eficaces para inducir la elongación del vástago floral, sin embargo, temperaturas de 15 °C por cuatro semanas son eficientes para plantas que presentan cuatro hojas verdaderas y 10 °C por seis semanas para plantas que tienen ocho pares de hojas (Ohkawa *et al.*, 1991). Para evitar problemas de “arrosetamiento”, se pueden realizar tratamientos con bajas temperaturas de las plántulas por seis semanas a 7 °C (Verdugo, 2007).

Luz y fotoperiodo. La luz también juega un papel fundamental en crecimiento y desarrollo de los vegetales. El fotoperiodo es la respuesta a las variaciones estacionales de la longitud del día (Baldomero-Roberto *et al.*, 2014). Las plantas de *Lisianthus* requieren de una alta luminosidad para mejorar el crecimiento y rigidez del tallo, así como el tamaño, número y color de las flores. Zaccai y Edri (2002) mencionan que la floración de *Lisianthus* no se ve influenciada por el fotoperiodo, pero en épocas de días largos (16/8 h) la calidad y la cantidad de flores por planta es mayor que en días cortos (8/16 h) los tallos son largos con mayor número de nudos, pero con menos flores, débiles y más sensibles a enfermedades. Zaccai y Edri (2002) hicieron siembras *Lisianthus* simulando condiciones de días largos (16/8) y condiciones de días cortos (8/16); encontraron que independientemente de la fecha de siembra, las plantas con días cortos produjeron cuatro flores más en invierno y tres más en primavera que las de día largo.

También la intensidad de la luz debe considerarse, pues plantas vigorosas y con mayor cantidad de flores se producen donde existe más intensidad de luz natural, 43000 luxes son apropiados. Si la intensidad de luz estuviera encima de este valor, se recomienda utilizar sombra. Cubrimiento de 20 a 30 % es lo aconsejable. Con este manejo se logrará el largo deseado de tallos y un color de flores con mejor presentación (Baldomero-Roberto *et al.*, 2014).

3.3 Reguladores de crecimiento

Las plantas internamente producen compuestos llamados hormonas vegetales o fitohormonas, que ejercen su función en muy bajas concentraciones y cuyo principal efecto se produce a nivel celular, cambiando los patrones de crecimiento de los vegetales. Los reguladores de crecimiento vegetal (PGRs: plant growth regulators synthetic) son compuestos sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos, son más potentes que los análogos naturales y se utilizan para controlar el crecimiento y actividad bioquímica de las plantas. Las auxinas, citocininas y ácido giberélico son algunas hormonas vegetales que también pueden ser aplicadas como PGRs para mejorar la arquitectura de las ornamentales, mejorar la intensidad de color en los botones florales o adelantar los tiempos de floración (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

3.3.1 Auxinas.

Las auxinas son hormonas que se distribuyen en las células y tejidos vegetales, donde tienen la capacidad de dirigir e interferir en los procesos de división, elongación y diferenciación celular de órganos como raíces, tallos y hojas (Garay-Arroyo *et al.*, 2014). Las auxinas inducen la formación y elongación de tallos, y combinadas con citocininas promueven la división celular en cultivos de callos (conjunto de células no diferenciadas producidas por el exceso de auxina en el ambiente vegetal), así como la producción de raíces adventicias en hojas y tallos recién cortados (George *et al.*, 2008).

La auxina más conocida, estudiada y producida de manera natural es el ácido 3-indol-acético (AIA), aunque también se conocen otros tipos de auxinas que son producidas de manera sintética como el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido α -naftalenoacético (NAA) (Simón y Petrásek, 2011; Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

La biosíntesis del AIA inicia con la conversión de triptófano a ácido indol-3-piruvato (IPA) por la enzima aminotransferasa. Posteriormente IPA se descarboxila a ácido indol-3-acetaldehído (AIAld) por la enzima indol-3-piruvato descarboxilasa. En la etapa final, el AIAld es oxidado a ácido indol-3-acético (AIA) por la enzima indol-3-acetaldehído deshidrogenasa (Spaepen *et al.*, 2007; Spaepen y Vanderleyden, 2011) (Figura 8).

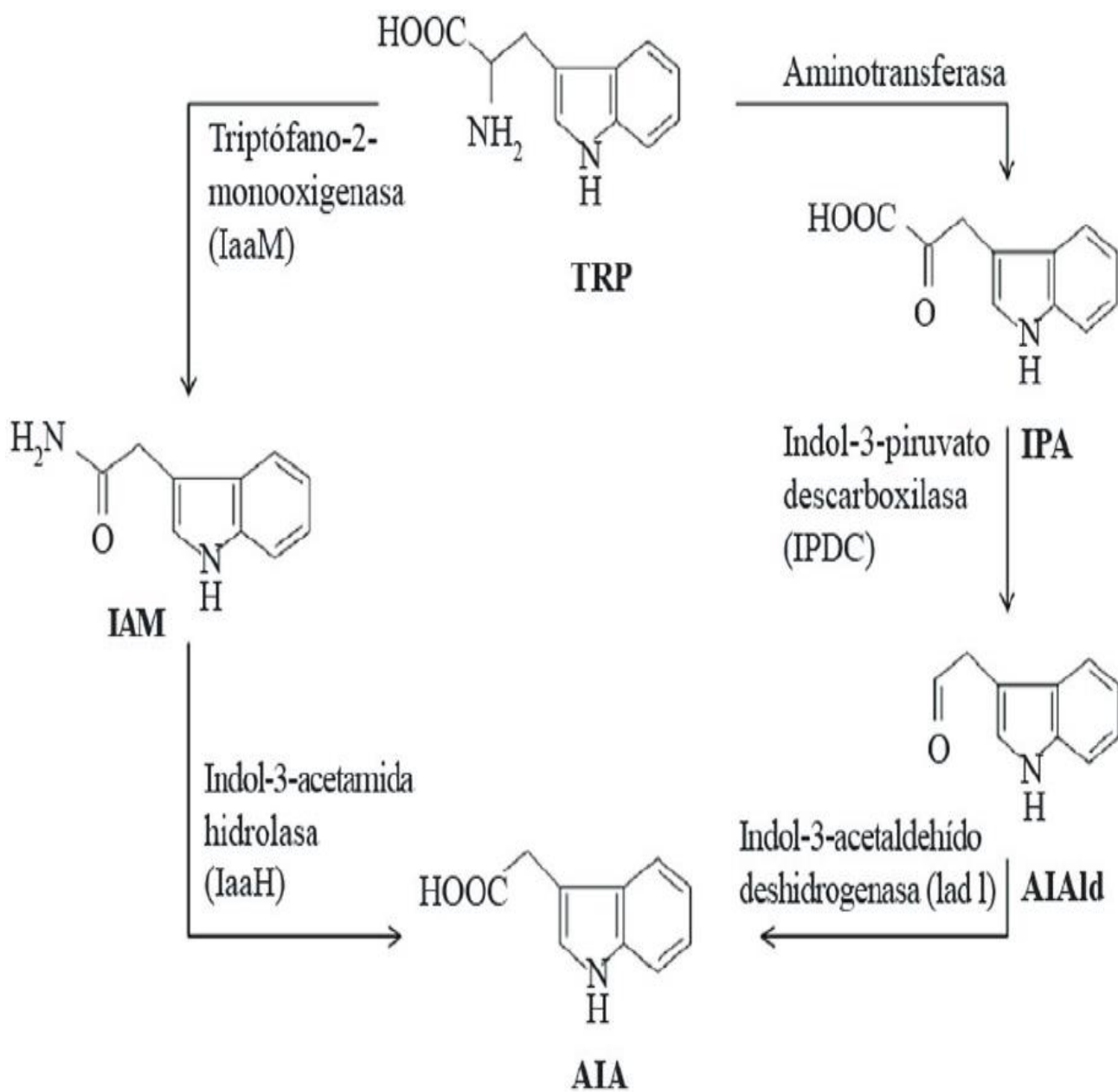


Figura 8. Biosíntesis del Ácido 3-indol-acético a partir del triptófano (<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609>)

3.3.2 Citocininas

Las citocininas naturales (zeatina, *trans*-zeatina o isopentiladenina) son derivados de adenina y se pueden clasificar por la configuración de su cadena lateral en N6- como citocininas isoprenoides o aromáticas (Huetteman y Preece 1993; Mok y Mok, 2001) (Figura 9).

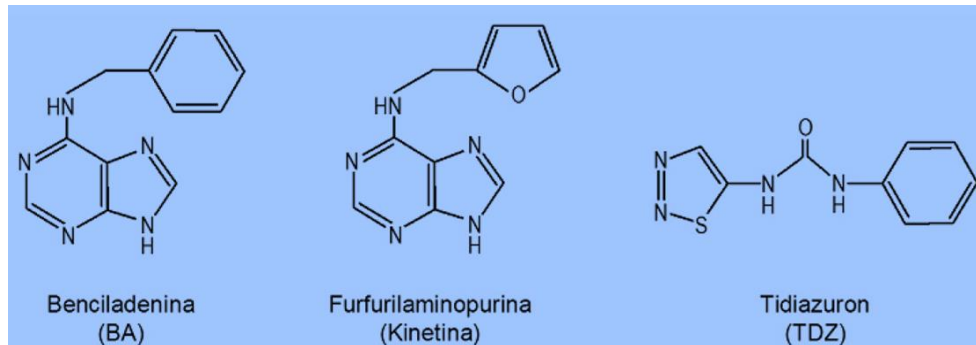


Figura 9. Estructura de citocininas sintéticas (<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609>).

Las citocininas tienen la capacidad de estimular e inducir una alta proliferación y división celular, suelen inducir la iniciación y elongación de las raíces al igual que pueden activar la senescencia de las hojas (Yong *et al.*, 2009). Estas hormonas suelen producirse de manera abundante en la punta de la raíz y se transportan por el xilema hacia las partes aéreas de la planta (Bottini *et al.*, 2004).

La síntesis de citocininas inicia con la transferencia del grupo isopentenilo del dimetilalil pirofosfato (DMAPP) al nitrógeno de la adenosina tri o difosfato (ATP/ADP), la enzima que cataliza la reacción es la citocinina isopentenil transferasa (IPT). Los productos de estas reacciones (iPTP o iPDP) se convierten en zeatina y otras citocininas de forma irreversible mediante una hidroxilasa (CYP735A). La enzima *cis*-*trans*-isomerasa es la encargada de la formación *trans*-Zeatina y *cis*-Zeatina en el ribosido (El-Showk *et al.*, 2013; Taiz *et al.*, 2015) (Figura 10).

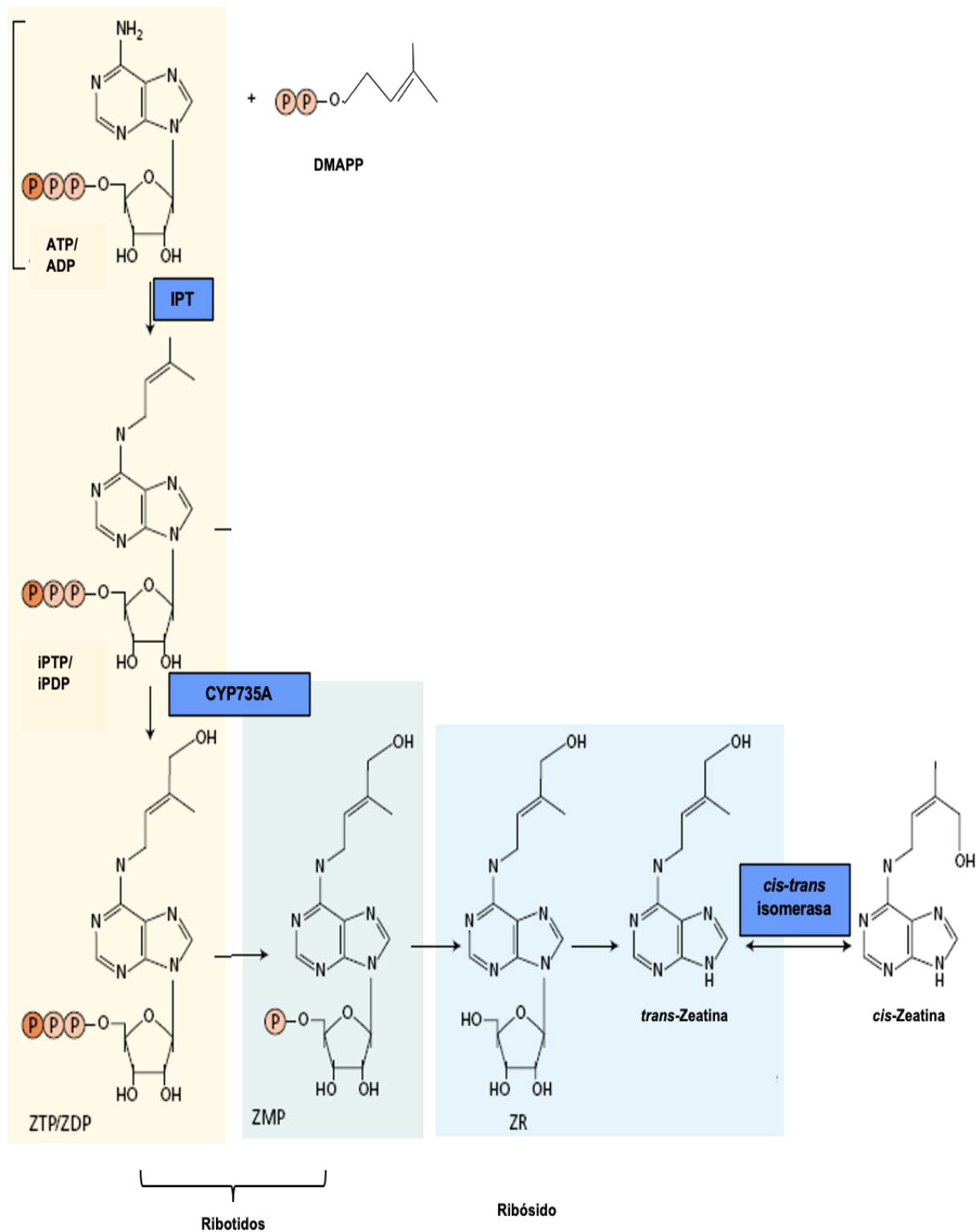


Figura 10. Biosíntesis de las citocininas a partir dimetilalil pirofosfato y adenosina tri o difosfato. Imagen modificada de Kieber y Schaller, (2018).

Las citocininas artificiales como benciladenina (BA), la 6 furfurilaminopurina (cinetina), que conservan la base adenina o el tidiazuron (TDZ) que no tiene la base adenina (Figura 9), son usados para promover la división celular, inducir la formación de callos y regenerar tejidos de brotes, es decir, la producción de nuevas plantas a partir del cultivo de tejidos vegetales. El TDZ es considerado uno de los inductores más potentes en la formación de brotes adventicios o embriones somáticos (Huetteman y Preece, 1993).

3.3.3 Acido Giberélico (AG)

Actualmente se conocen 140 moléculas de giberelinas diferentes, las biológicamente activas son AG₁, AG₃, AG₄ y AG₇, el resto son precursores o productos de degradación de las que presentan actividad fisiológica, su efecto más conocido es que promueven el crecimiento y desarrollo del tallo y hojas a través de la estimulación de la división y elongación celular. También aceleran el desarrollo de flores o frutos y estimula la germinación de semillas (Dorcey Eavan, 2007; George *et al.*, 2008; Gupta y Chakrabarty, 2013).

La biosíntesis de giberelinas inicia con la ciclación del GGDP (geranil-geranil-difosfato), después el primer compuesto en la vía isoprenoide comprometido con la biosíntesis de giberelina es el ent-kaureno y su biosíntesis ocurre en los plastidios. Posteriormente el ent-Kaureno se convierte en GA₁₂, el precursor de todas las otras giberelinas, en el retículo endoplásmico. Finalmente, en el citoplasma se lleva a cabo la síntesis de giberelinas activas (Olszewski *et al.*, 2002) (Figura 11).

La giberelina disponible comercialmente es el ácido giberélico (AG₃) que se emplea para acelerar y aumentar la producción, tamaño y calidad del fruto, así como también acelerar el desarrollo del tallo, floración y germinación de semillas (George *et al.*, 2008; Gupta y Chakrabarty, 2013).

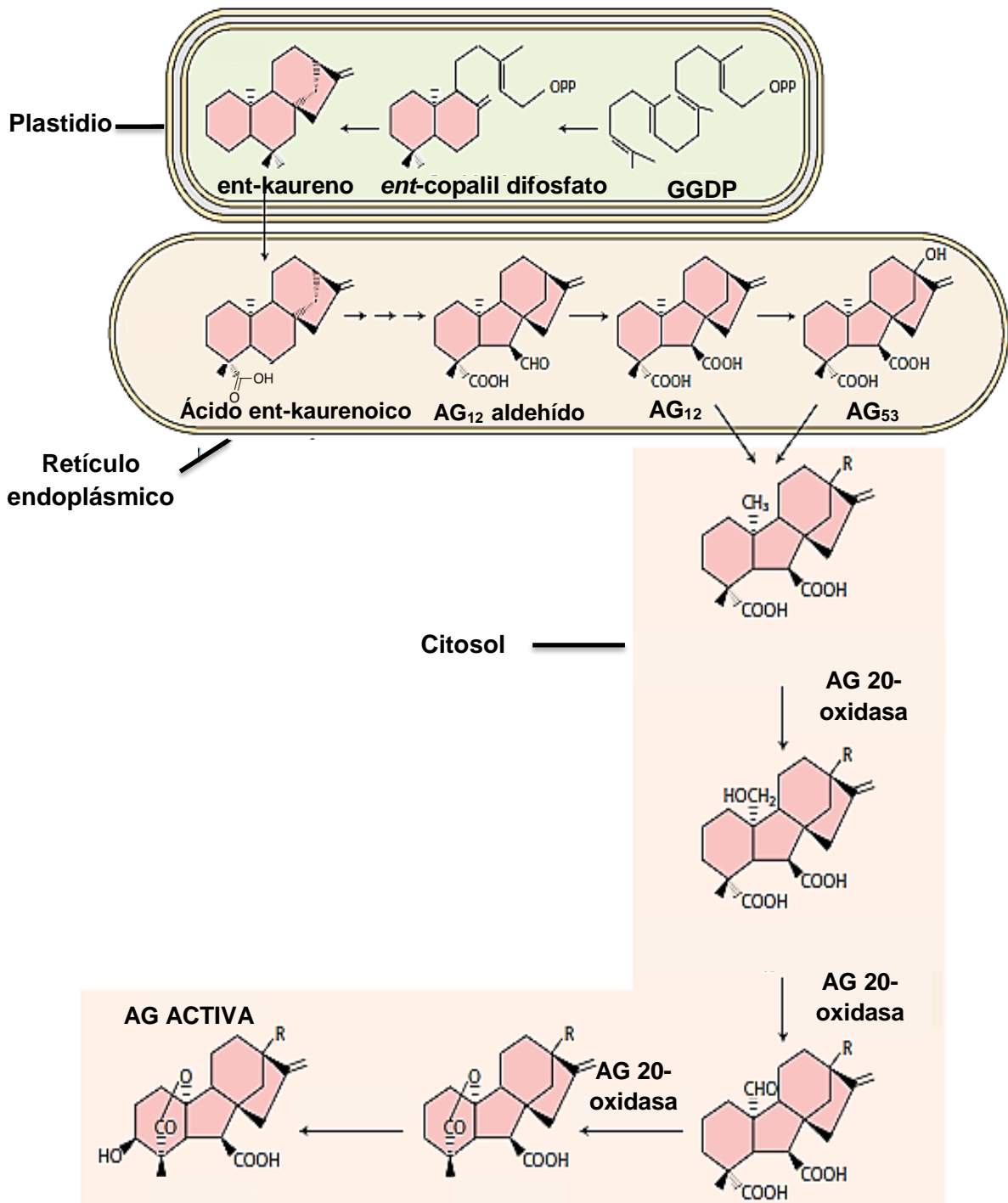


Figura 11. Ruta de biosíntesis de las giberelinas activas. Imagen modificada de Taiz y Zeiger (2010). (<https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/11/tema-10-giberelinas.pdf>).

3.4 El ácido giberélico (AG₃) en el cultivo de Lisianthus

La aplicación de AG₃ en cultivos de Lisianthus es común para evitar problemas de arrosamiento por exposición a altas temperaturas (≥ 25 °C), siendo este, uno de los grandes problemas para muchos productores. Dosis de 50 mg L⁻¹ o 250 mg L⁻¹ de AG₃, evitan el achaparramiento de las plantas (Verdugo, 2007).

3.4.1 Cambios morfológicos y anatómicos por aplicación de ácido giberélico

La aplicación de cinco concentraciones (0, 25, 50, 100 y 200 mg L⁻¹) de AG₃ en *Lilium* cv. no afectó la altura de los tallos florales (85.3 cm) y número de hojas (79.7), pero con la aplicación de 200 mg L⁻¹ de AG₃ el área del xilema se mantuvo sin cambios (0.0092 mm²) (Torres-Pio *et al.*, 2021). En *Solanum lycopersicum* (jitomate), la aplicación de 150 mg L⁻¹ de AG₃ incrementó el diámetro del tallo y la altura de la planta de 2 a 2.5 cm y de 9.4 a 16.8 cm respectivamente (Ortega-Martínez *et al.*, 2013). Resultados similares fueron obtenidos en *Gladiolus grandiflorus* (gladiolo), con la misma concentración de AG₃ ya que la longitud del tallo fue de 83.7 cm comparado con el control que fue de 68.9 cm (Sarkar *et al.*, 2014). Monsalves-Pérez, (2015) aplicó diferentes concentraciones de AG₃ (0, 125, 250 y 500 mg L⁻¹) en dos variedades de Lisianthus ('Magic Blue' y 'Arena II White'), evaluó la altura de los tallos, distancia entre nudos y número de botones. La altura de los tallos y números de botones no mostraron diferencias respecto al control, mientras que la distancia entre nudos incrementó 0.8 cm con respecto al control por la aplicación de 250 mg L⁻¹ de AG₃ en la variedad 'Magic Blue'.

3.4.2 Distribución de biomasa por aplicación de ácido giberélico

En *Solanum lycopersicum*, la aplicación de 1×10^{-8} M de ácido salicílico más 12 mg L^{-1} de AG_3 disminuye el Área foliar específica (AFE) y Relación área foliar (RAF) de 290 a $230 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ y de 98 a $84 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ respectivamente (Ramírez-Zambrano, 2015). En *Zea mays* (maíz) la aplicación de 0.5, 0.75 y 1 mg L^{-1} de Al_3 , la relación raíz/vástago (R/V) aumentó de 0.7 a 0.9 g como consecuencia de una disminución en el peso seco de raíz (Casierra-Posada y Cárdenas-Hernández, 2009). Orozco-Vidal *et al.* (2011) evaluaron la RAF en *Gossypium barbadense* (algodón) y observaron que en la fase de plántula fue mayor ($79.2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) comparado con la etapa reproductiva ($23.2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). Alia-Tejacal *et al.* (2011) no encontraron diferencias en el índice de verdor de cinco variedades de nochebuena al aplicar cinco concentraciones de AG_3 (0, 4, 6,8 y 10 mg L^{-1}).

4.0 JUSTIFICACIÓN

Lisianthus es una planta ornamental muy bonita, llamativa y conocida en el mercado europeo y asiático siendo las empresas japonesas las pioneras para el mejoramiento genético. A pesar de ser muy popular, reconocida y estudiada en otros lugares del mundo, lamentablemente es poco conocida en el mercado mexicano aun cuando es una planta nativa, esto se puede deber a que existen pocos trabajos que hablen sobre el cultivo de Lisianthus en México y la aplicación de reguladores de crecimiento para mejorar su desarrollo, por lo que este trabajo podría ser de ayuda para que los productores se alienten a cultivar esta planta y vuelva aumentar el número de hectáreas (ha) cultivadas, que han ido reduciéndose de 20 a 4 ha en lo que fue del año 2006 a 2010 y que sigue disminuyendo, así como también incrementar el interés de los productores de otros estados que aún no la cultivan.

5.0 OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar el efecto de cinco concentraciones de ácido giberélico (0, 25, 50, 100 y 150 mg L⁻¹) en el crecimiento y distribución de biomasa de *Eustoma grandiflorum*, Lisianthus 'Mariachi Blue'.

5.2 Particulares

Determinar el efecto de AG₃ en la altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas e índice de verdor, durante el crecimiento de Lisianthus 'Mariachi Blue'.

Describir el aspecto visual de los tallos florales de Lisianthus 'Mariachi Blue' cultivado con diferentes concentraciones de AG₃.

Cuantificar el número de yemas vegetativas, número de nudos, longitud de entrenudos y número de botones florales en Lisianthus 'Mariachi Blue'.

Calcular el área foliar, área foliar específica, relación de área foliar e índice de verdor durante la fase de floración de Lisianthus por efecto del AG₃.

Analizar la distribución de biomasa y la relación raíz/vástago durante la fase de floración de Lisianthus.

Analizar, durante la fase de floración, los caracteres anatómicos en el tallo de Lisianthus tratados con 50 y 150 mg L⁻¹ de AG₃.

6.0 HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de ácido giberélico en *Lisianthus* 'Mariachi Blue' puede favorecer el crecimiento, distribución de biomasa y provocar cambios en la anatomía del tallo o de la hoja.

7.0 MATERIALES Y MÉTODOS

De septiembre de 2019 a febrero de 2020 se cultivó *Lisianthus* 'Mariachi Blue' en un invernadero con iluminación promedio de $800 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ubicado en la Unidad de Morfología y Función (UMF), de la FES-Iztacala, UNAM. Las plántulas de *Lisianthus* fueron adquiridas en la empresa Plántulas de Tetela, Cuernavaca, Morelos, México y transportadas al invernadero de la UMF donde se mantuvieron por una semana. Transcurrido este tiempo, se conformaron 75 unidades experimentales (UE) al colocar tres plántulas de *Lisianthus* en una maceta de plástico negro con 2.5 L de tezontle de granulometría $\leq 5 \text{ mm}$. Para llevar cada maceta al 100 % de humedad, equivalente a 30 cbar de tensión, se agregó al tezontle 1.5 L de agua. Durante el cultivo, cuando el tensiómetro indicó 56 cbar, equivalentes a 80 % de humedad, se aplicó solución universal Steiner (Steiner, 1961) diluida al 75, 50 y 25 % para la primera, segunda y tercera semana después del trasplante. A partir de la cuarta semana, el fertirriego se realizó con la solución nutritiva completa, pH 6.1; conductividad eléctrica, 2.0 dS m^{-1} , una vez por semana la humedad de cada maceta se ajustó con agua de la llave. En este mismo tiempo, las unidades experimentales se separaron en cinco grupos con 15 repeticiones cada uno y se distribuyeron al azar en el interior del invernadero para asperjar en las hojas, dos veces por semana, las concentraciones siguientes de AG₃ (Activol® 40 %, Valent BioSciences, USA): 0, 25, 50, 100 y 150 mg L⁻¹. Las evaluaciones se realizaron durante la fase vegetativa cada 12 días, dato que se obtuvo al sacar el promedio de las fechas que otros autores registraron y en la fase de floración a los 160 días después de la siembra.

Fase vegetativa, cada 12 días.

- a) Altura de la planta.** Se registró con cinta métrica con precisión 0.1 cm, desde la base del tallo hasta su ápice meristemático.



- b) Diámetro del tallo (DT).** Con un vernier digital marca Truper® con precisión 0.01 mm, se obtuvieron las medidas de la parte media del tallo.



c) **Número de hojas.** Se contabilizó de manera directa el número total de hojas.

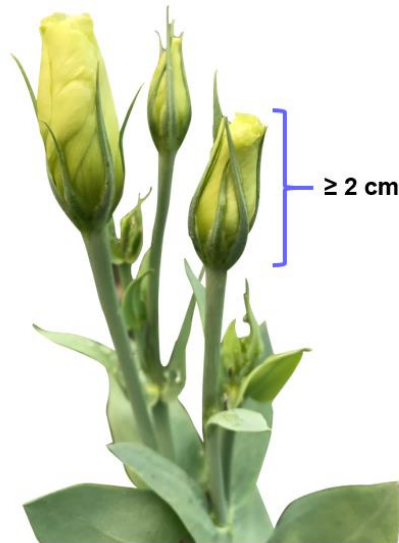
d) **Índice de verdor.** Los registros se realizaron en las hojas de la parte media del tallo floral con un medidor SPAD portátil, marca Hansatech Model CL-01.



e) **Apariencia visual de los tallos florales.** La apariencia visual de los tallos florales se registró con una cámara digital marca Sony, modelo Cyber-shot 720 p, en tres tiempos diferentes (15, 45 y 90 tiempo después del trasplante).

Fase de floración, 160 días después de la siembra.

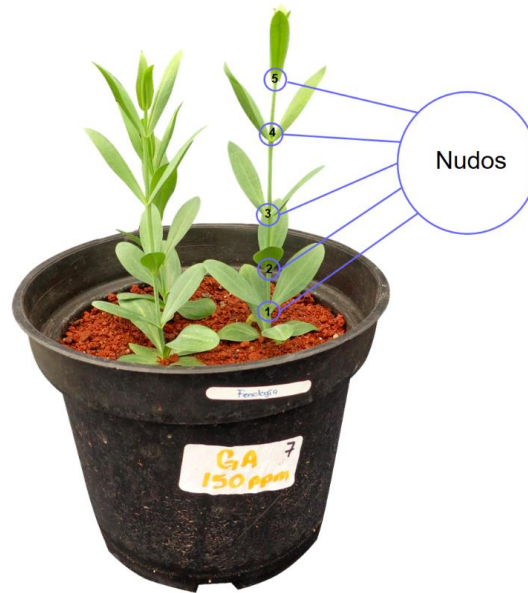
- a) **Número de botones florales.** Se cuantificaron todos los botones florales cuya longitud fue ≥ 2 cm.



- b) **Número de yemas vegetativas.** Se realizó por conteo directo, se consideraron como yemas vegetativas a los meristemos laterales con longitud ≥ 5 mm.



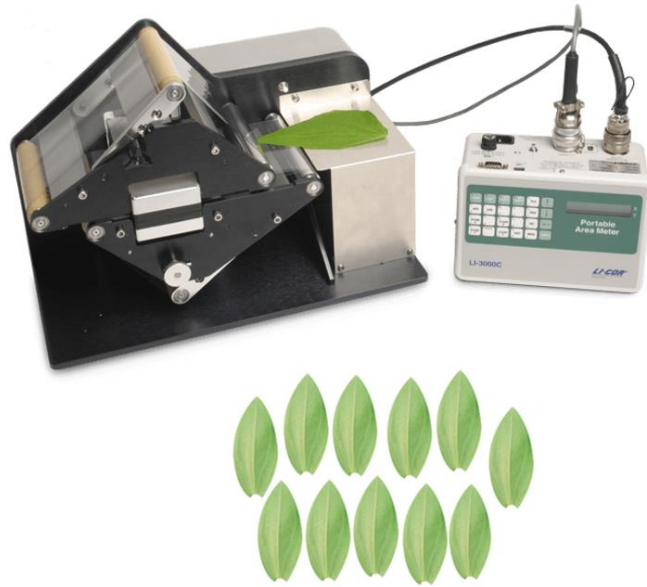
c) **Número de nudos.** Se contabilizaron los nudos totales del tallo tomando como referencia la inserción de un par de hojas.



d) **Longitud de entrenudos.** Con un vernier digital se midió, en dirección acrópeta, la distancia que hay entre el primer y segundo nudo del tallo, y así sucesivamente hasta llegar al último entrenudo.



- e) **Área foliar (AF).** A nueve tallos florales de cada tratamiento se les removieron las hojas y se les midió su área foliar con integrador de área foliar LI-COR modelo LI 3000A.



- f) **Área foliar específica (AFE).** El AFE se obtuvo al dividir área foliar entre la biomasa seca de la hoja.

$$AFE = \frac{AF}{BSH}$$

Donde: AF, área foliar; BSH, biomasa seca de las hojas

- g) **Relación área foliar (RAF).** Se obtuvo al dividir área foliar entre biomasa seca total.

$$RAF = \frac{AF}{BST}$$

Donde: AF, área foliar; BST, biomasa seca total.

- h) **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.

i) Distribución de biomasa seca. Las plantas de cada tratamiento se fraccionaron en raíces, tallos y hojas, se registró su biomasa fresca con una balanza digital marca Ohaus, modelo AR3130 con precisión de 0.001 g, se etiquetaron y se secaron a 80 °C por 24 h en un horno marca Reavel modelo REA-II2240. La biomasa seca se registró con la misma balanza.

j) Relación raíz/vástago (R/V). Se obtuvo al dividir la biomasa seca de raíces entre la biomasa seca del vástago.

$$R/V = \frac{BSR}{BSV}$$

Donde: BSR, biomasa seca de raíces; BSV, biomasa seca del vástago.

k) Anatomía cuantitativa del tallo floral. De la parte media de tres tallos florales de los tratamientos 0, 50 y 150 mg L⁻¹ de AG₃ se tomaron muestras de 3 cm de longitud y se fijaron en FAA (formaldehído, 10 %; ácido acético, 5 %; etanol absoluto, 50 %; agua destilada, 35 %). Después de una semana, las muestras se lavaron con agua y deshidrataron con etanol en concentraciones graduales de 10 a 100 % y se aclararon con xilol para realizar la microtécnica de inclusión en parafina y obtener cortes transversales de 20 µm con un micrótopo giratorio marca Leica® RM2125RTS, EE. UU (Ruzin, 2000). Con el analizador de imágenes NIS Elements, Basic Research para Windows® se cuantificó el grosor de la cutícula, capas de parénquima, área de xilema, número de vasos solitarios y agrupados.

Los datos obtenidos fueron procesados en Excel, aplicando estadística descriptiva, medidas de tendencia central y de dispersión. Con el Software SAS 9.0® para Windows se realizó análisis de varianza de un factor y pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$).

8.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Fase vegetativa

La fase vegetativa tuvo una duración total de 2 meses y medio, las mediciones se realizaron cada 12 días.

8.1.1 Altura de la planta

A partir del día 36 de la aplicación de AG₃, en cualquiera de sus concentraciones, incrementó significativamente la altura de *Lisianthus* 'Mariachi Blue'. En el día 90, el incremento en altura de las plantas tratadas con AG₃ fue 2.5 veces mayor con respecto a las del control, cuya altura fue de 13.7 cm (Figura 12).

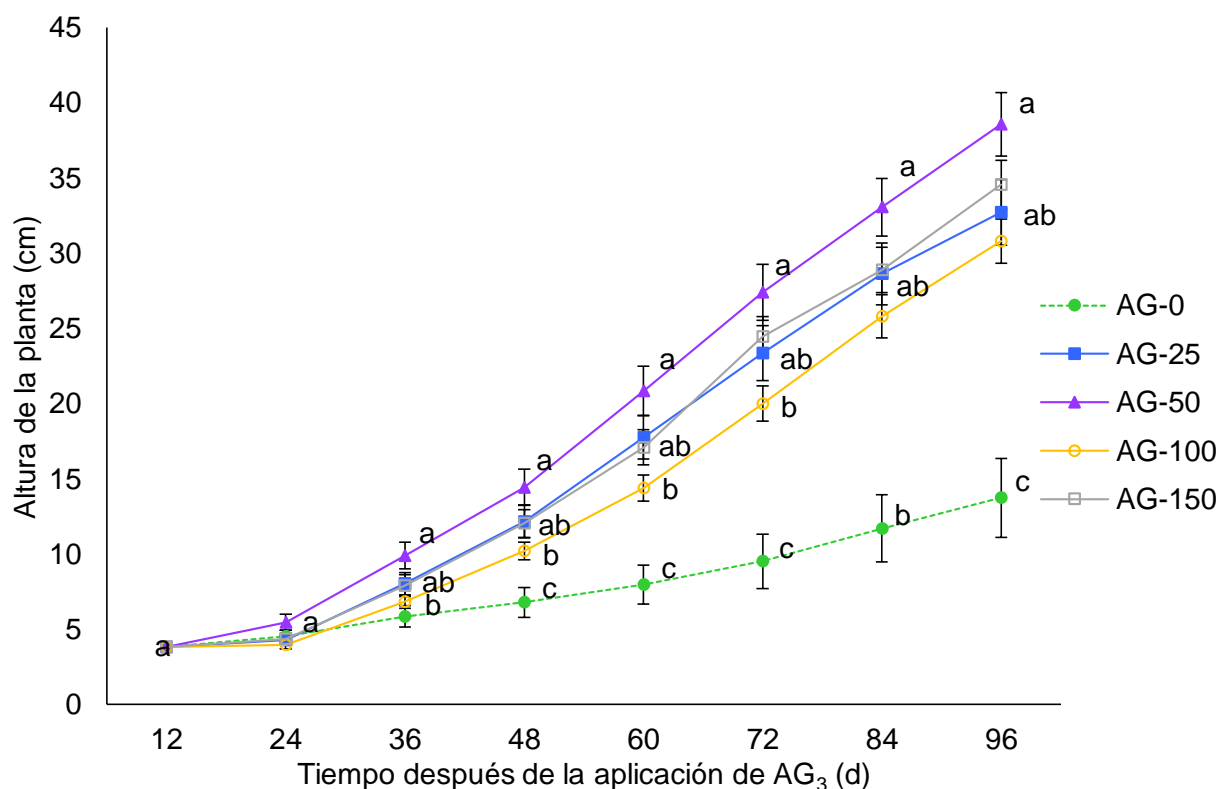


Figura 12. Altura de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L⁻¹) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.

La aplicación de AG₃ aumenta la división celular en la región subapical de los meristemos intercalares y en consecuencia incrementa la longitud del tallo (Taiz y Zeiger, 2010). En este experimento, a partir de los 36 días se incrementó la longitud del tallo de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' lo cual sugiere que a partir de este momento la acumulación de AG₃ en los meristemos intercalares fue suficiente para promover la elongación del tallo e incrementar la altura de las plantas. Semejante a lo anterior, se ha reportado que en bulbos de *Gladiolus grandiflorus* sumergidos por 24 h en 0, 50, 100 o 150 mg L⁻¹ de AG₃, incrementa la altura de las plantas a los 90 d después de la siembra, particularmente con 150 mg L⁻¹, la altura se incrementó de 68.8 a 83.7 cm (Sarkar *et al.*, 2014). Asimismo, hojas de *Dendranthema grandiflora* Tzvelev (crisantemo) fueron asperjadas con 0, 100, 200 o 300 mg L⁻¹ de AG₃. Con 200 o 300 mg L⁻¹, y la altura se incrementó de 103 (control) a 120 cm (Schmidt *et al.*, 2003). La respuesta de los tallos de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' fue similar a lo que se observó con *Gladiolus grandiflorus* y *Dendranthema grandiflora* Tzvelev, es decir, la altura se incrementó significativamente con respecto al control.

8.1.2 Diámetro del tallo

Los tallos de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' fueron delgados ya que su diámetro osciló entre 1 y 3 mm sin diferencias por efecto de la aplicación de AG₃ en cualquiera de sus concentraciones (Figura 13).

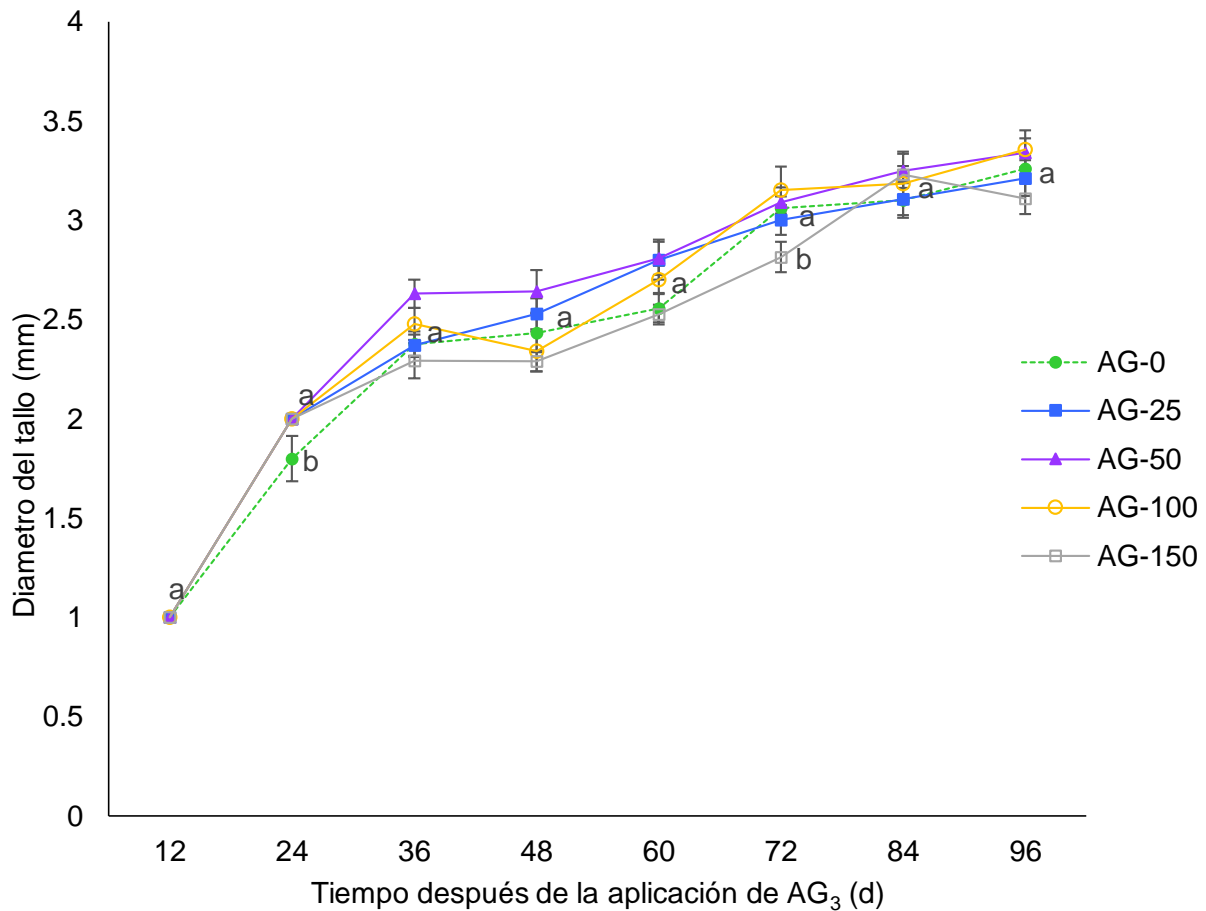


Figura 13. Diámetro del tallo de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L^{-1}) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.

En *Solanum lycopersicum* se aplicó por aspersión a las primeras hojas verdaderas 0, 400, 600, 8 000 y 10 000 $\mu\text{g L}^{-1}$ de AG₃. A los 25 días después de la germinación se evaluó el diámetro del tallo y se observó que únicamente con la concentración de 10 000 $\mu\text{g L}^{-1}$ ocurrió un incremento de 0.5 cm con respecto al control y las otras concentraciones de AG₃ cuyos tallos tuvieron un diámetro promedio de 2 cm (Ortega-Martínez *et al.*, 2013). El diámetro del tallo de *Lisianthus 'Mariachi Blue'* fue 7 veces menor que el de *Solanum lycopersicum*. En *Dendranthema grandiflora* Tzvelev (crisantemo), la aplicación de 200 mg L^{-1} de AG₃ incrementó el diámetro del tallo de 0.75 a 0.88 cm (Schmidt *et al.*, 2003). Estos valores indican que el tallo de estas ornamentales tiene menor diámetro que el de hortalizas como jitomate. Semillas de *Carica papaya L.* (papaya) fueron sumergidas por 12 h en soluciones de 0, 50, 100, 150, 200 y 250 mg L^{-1} de AG₃, todos los tratamientos incrementaron el diámetro del tallo de las plántulas de papaya, 24 días después de la germinación, teniendo mayor efecto los de 200 y 250 mg L^{-1} ya que el incremento fue de 6.85 a 10.22 mm (López-Calle, 2018). De manera general, la aplicación de AG₃ en altas concentraciones y en etapas tempranas incrementa el diámetro del tallo, sin embargo, no siempre ocurre la misma respuesta. En *Lisianthus 'Mariachi Blue'* la aplicación de 25, 50, 100 y 150 mg L^{-1} de AG₃ no tuvo efecto significativo en el diámetro del tallo, pero sí en la altura de la planta.

8.1.3 Número de hojas

De los 12 a los 48 días después de la aplicación de AG₃, el número de hojas se incrementó de 5.9 a 12.3 sin diferencias entre tratamientos. A partir de este tiempo, la aplicación de AG₃ promovió el aumento en el número de hojas y en el día 96, los tallos de *Lisianthus* tratados con cualquier concentración de AG₃ tuvieron 23.5 % mayor número de hojas con respecto a los del control que tuvieron en promedio 15 hojas (Figura 14).

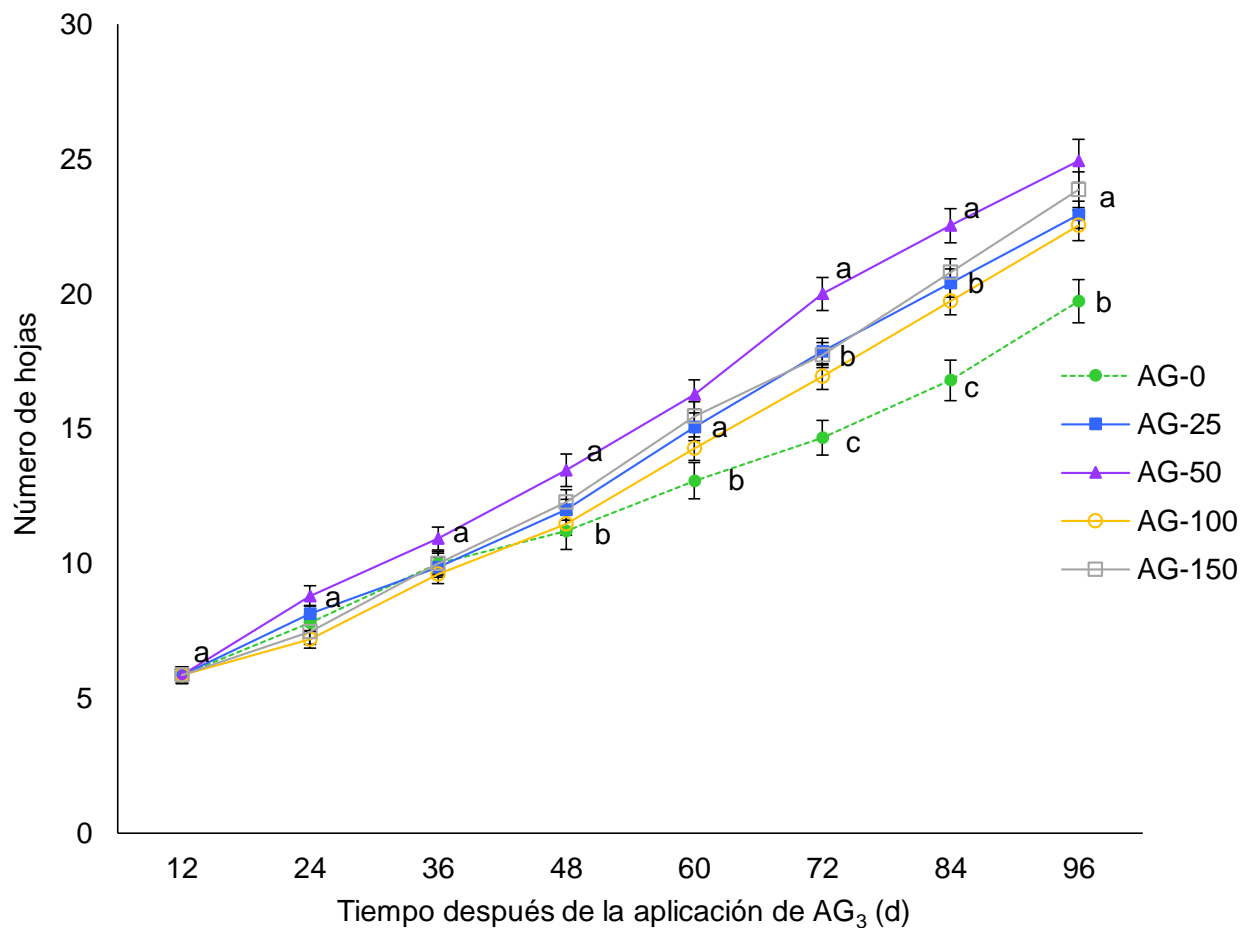


Figura 14. Número de hojas de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L⁻¹) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.

En *Zinnia elegans* (zinia), la aplicación de 0,100 o 200 mg L⁻¹ de AG₃ y 0, 5 o 10 mg L⁻¹ de progesterona, a las semillas por 24 h antes de la siembra y semanalmente en las hojas de las plántulas por dos meses, incrementó el número de hojas de 41 a 51 con respecto al control (Sedaghtoor y Zakibakhsh-Mohammadi, 2019). En *Fragaria x ananassa* Duch (fresa), la aplicación foliar de 0, 10 o 20 mg L⁻¹ de AG₃, a los 120 después del trasplante, incrementó de 7 a 60 el número de hojas (Pérez de Camacaro *et al.*, 2013), mientras que en *Solanum lycopersicum* con 10 000 µg L⁻¹ de AG₃, el número de hojas se incrementa de 4 a 7 a los 25 días después de la germinación (Ortega-Martínez *et al.*, 2013). En *Anthurium scherzeranum* (anturio) el número de hojas no se afectó por la aplicación foliar de 1000 mg L⁻¹ de AG₃ (Boschi *et al.*, 1998). De manera general, la aplicación de AG₃ incrementa el número de hojas, sin embargo, no siempre ocurre la misma respuesta. En *Lisianthus* 'Mariachi Blue', la aplicación de 25, 50, 100 o 150 mg L⁻¹ de AG₃ incrementó el número de hojas a partir de los 48 días después de la siembra, un mayor número de hojas favorece la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa, lo que podría conllevar a producir mayor biomasa y mejorar el rendimiento del cultivo.

8.1.4 Índice de verdor (IV)

A partir del día 36 después de la aplicación de tratamientos, el índice de verdor en las hojas de *Lisianthus* asperjadas con AG₃ fue 2 veces menor comparado con las del control, cuyo índice promedio fue de 30 U-SPAD. A los 96 d, la tonalidad verde de las hojas control y las tratadas con AG₃ fue menos pronunciada ya que los valores de IV fueron de 34.2 y 22.7 respectivamente (Figura 15).

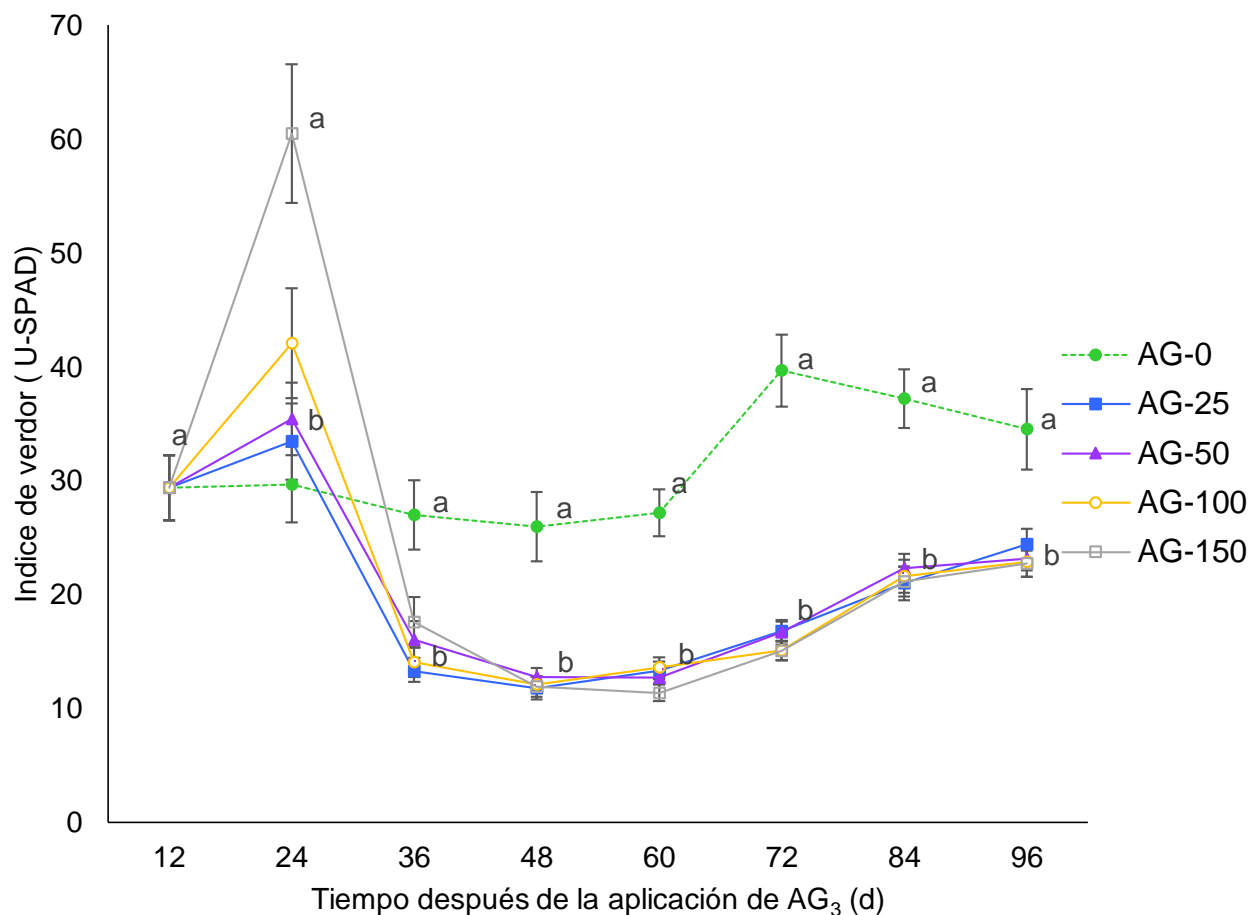


Figura 15. Índice de verdor de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones (mg L^{-1}) de ácido giberélico. Letras diferentes en cada tiempo de evaluación indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$). Cada dato es el promedio de 15 repeticiones \pm error estándar.

El índice de verdor es una medida indirecta de la concentración de clorofila o nitrógeno, ya que existe una relación directa entre los valores de U-SPAD y la cantidad de éstos en las hojas de las plantas (Taiz y Zeiger, 2004). En cinco variedades de *Euphorbia pulcherrima* (nochebuena) no se encontraron diferencias en el índice de verdor, cuyos valores fueron de 59 U-SPAD por aplicar, a los 7 y 14 después del trasplante, 0, 4, 6, 8 y 10 mg L⁻¹ AG₃ (Alia-Tejacal *et al.*, 2011). Hojas de *Cymbidium* sp. (orquidea) de 48 meses se les aplicaron tres concentraciones de AG₃ y el índice de verdor disminuyó de 49.6 (control) a 42.9, 44.6 y 48.0 U-SPAD para 5, 125 y 250 mg L⁻¹ de AG₃ respectivamente (Hernández-Murguía, 2017). Resultados similares se obtuvieron en *Lisianthus* 'Mariachi Blue' con la aplicación foliar de 25, 50, 100 o 150 mg L⁻¹ de AG₃ al disminuir significativamente el índice de verdor.

8.1.5 Apariencia visual de los tallos florales

La apariencia visual fue más llamativa en aquellos tallos florales que se les aplicó AG₃ ya que tuvieron más follaje y mayor altura. Sin embargo, conforme transcurrió la fase vegetativa y se aproximó la de floración, los tallos tuvieron apariencia más delgada y endeble, haciéndolos menos atractivos para el consumidor pues pensarán que esos tallos no sostendrán los botones florales que pudieran emerger de ellos (Figura 16).

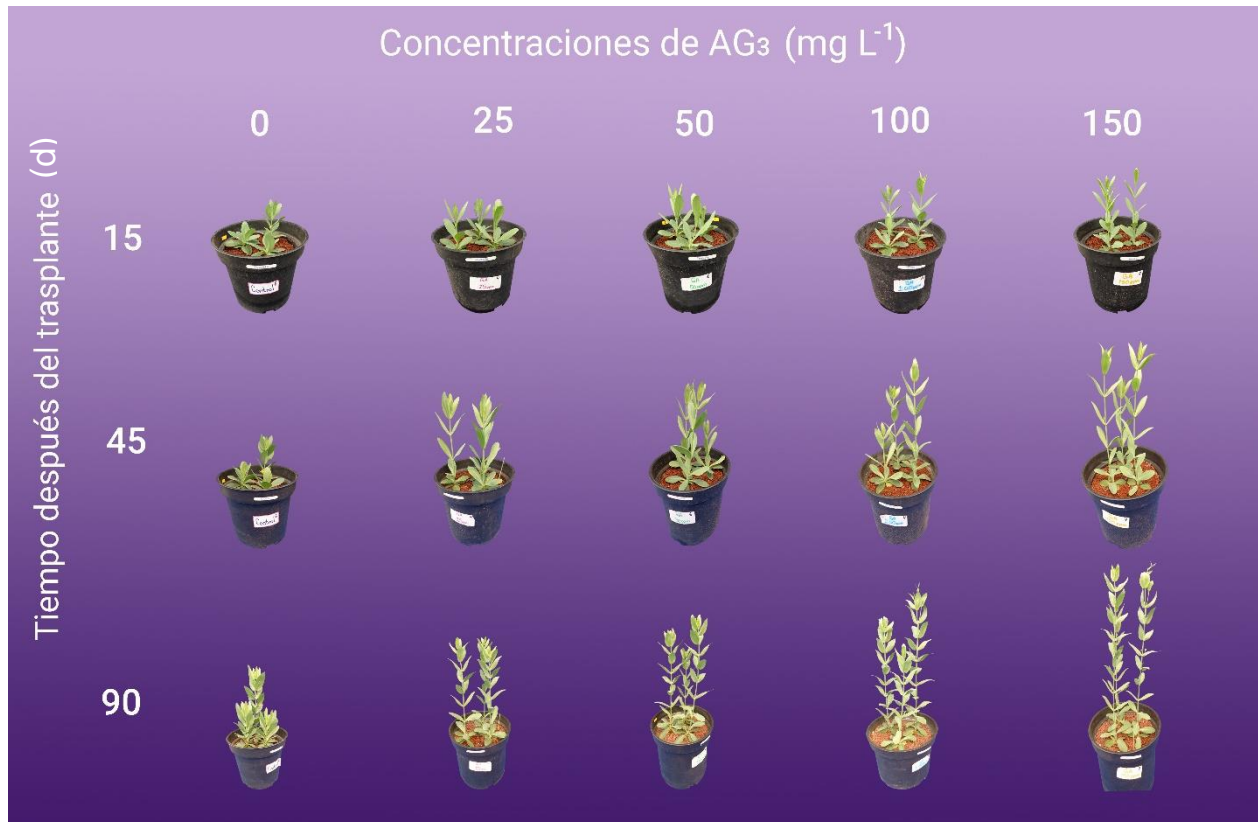


Figura 16. Apariencia visual, en tres tiempos diferentes, de Lisianthus 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.

El consumidor prefiere tallos florales vigorosos, con follaje verde brillante y flores llamativas, de tal manera que al llevarlas a su casa les de confort y relajamiento. Es decir, prefieren comprar tallos florales de calidad que aquellos de apariencia endeble. Para *Lisianthus* 'Mariachi Blue', no existe una norma de calidad específica, por lo que, en los mercados que se realiza el control de calidad, se aplican las normas genéricas de calidad de la Unión Europea para flor cortada; estas atienden más a la sanidad general de la planta, limpieza y residuos de agroquímicos, que a parámetros concretos como longitud o número de tallos. Aunque en la norma no se mencione, una mayor longitud de los tallos y un mayor número de botones por tallo, son mejor valorados en el proceso de comercialización (Melgares de Aguilar, 1996).

La aplicación de AG₃ en *Lisianthus* 'Mariachi Blue' incrementó la longitud del tallo, pero conforme pasaba el tiempo su diámetro disminuía y no se observaron botones florales, por lo tanto, no cumple con la perspectiva del consumidor, ya que prefieren tallos altos y gruesos, así como también mayor número de botones florales.

8.2 Fase de floración, 160 días después de la siembra (dds)

La fase de floración comenzó a los 160 días después de la siembra. Cada tallo floral se consideró en su fase de floración cuando su número de botones abiertos fue $\geq 60\%$.

8.2.1 Número de botones florales, yemas vegetativas, nudos y longitud de entrenudos

La aplicación de AG₃ promovió el crecimiento vegetativo de *Lisianthus Marachi Blue*. Con respecto al tratamiento control, 25 o 150 mg L⁻¹, las concentraciones de 100 y 150 mg L⁻¹, incrementaron 3.9, 3.1, 1.7 y 1.2 veces el número de botones florales, yemas vegetativas, nudos y longitud de entrenudos respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características morfométricas evaluadas en *Lisianthus 'Mariachi Blue'*

Ácido giberélico (mg L ⁻¹)	Número de			Longitud entre nudos (mm)
	Botones florales	Yemas vegetativas	Nudos	
0	0.50 b	0.50 c	12.6 b	22.66 d
25	0.67 b	5.14 bc	13.3 b	28.13 c
50	0.67 b	6.67 b	14.2 ab	29.73bc
100	1.50 ab	14.80 a	14.6 ab	33.51 ab
150	3.25 a	12.00 a	15.7 a	35.47 a
DHS	1.88	5.30	2.1	122.51
CV (%)	47.49	30.15	11.1	38.22

^zLetras iguales en cada columna indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación. Cada dato es el promedio de nueve repeticiones.

En *Zinnia elegans* el número de nudos y botones florales disminuyeron de 7.8 a 6.9 y de 1.5 a 0.9 por la aplicación de 100 o 200 mg L⁻¹ de AG3 respectivamente (Sedaghtoor y Zakibakhsh-Mohammadi, 2019). Monsalves-Pérez, (2015) menciona que la aplicación de 250 mg L⁻¹ AG3 en *Lisianthus* 'Magic Blue' incrementa la distancia de los entrenudos 0.8 cm con respecto al control. En *Iris lutescens* (lirio enano de monte), la aplicación foliar de 125, 250 y 500 mg L⁻¹ AG₃ incrementó de 6 a 10 el número de yemas con respecto al control (Fernández *et al.*, 2008). De acuerdo con estas referencias, la aplicación de AG₃ en concentraciones ≤ 200 mg L⁻¹ disminuye el número de estructuras vegetativas o de floración, pero incrementa la longitud de los entrenudos de las plantas a las cuales se les aplique este regulador de crecimiento. Sin embargo, concentraciones ≥ 250 mg L⁻¹ de AG₃ incrementan el número de yemas. Para el caso de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' hubo incremento de las estructuras vegetativas y reproductivas, pero los botones florales no se desarrollaron completamente. La razón de esto podría ser, que la delgadez de los tallos dificultó la translocación de fotoasimilados o que la baja concentración de clorofila, de acuerdo con las U-SPAD, disminuyó eficiencia fotosintética y con ello, la generación de productos requeridos para la fijación del CO₂ y desarrollo de los órganos florales. La temperatura ≥ 30 °C en el interior del invernadero también pudo influir negativamente en el desarrollo de los botones florales, lo recomendable es temperatura de 23 °C en la etapa de floración (Melgares de Aguilar, 1996; Manrique, 2003).

8.2.2 Área foliar, área foliar específica (AFE), relación de área foliar (RAF), e Índice de verdor (IV).

En promedio, el área foliar y área foliar específica fueron de 426.6 cm² y 213.6 cm² g⁻¹ respectivamente sin diferencias entre las concentraciones de AG₃ aplicadas a Lisianthus 'Mariachi Blue'. La relación de área foliar disminuyó conforme se incrementó la concentración de AG₃, mientras que el índice de verdor se incrementó sin importar la concentración de ácido giberélico aplicada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Variables evaluadas en Lisianthus 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.

Ácido giberélico (mg L ⁻¹)	Área foliar (cm ²)	Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	Relación de área foliar (cm ² g ⁻¹)	Índice de verdor (U-SPAD)
0	385.66 a	217.61 a	469.39 a	40.78 b
25	450.37 a	204.83 a	412.59 ab	67.91 a
50	459.66 a	217.51 a	404.60 abc	57.65 ab
100	437.31 a	205.40 a	338.16 bc	54.84 ab
150	400.00 a	222.45 a	331.38 c	50.51 ab
DHS	97.87	36.70	80.93	18.37
CV (%)	17.04	12.77	15.37	23.16

^zLetras iguales en cada columna indican que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación. Cada dato es el promedio de nueve repeticiones.

En *Anthurium scherzeranum* la aplicación foliar de 500 o 1000 mg L⁻¹ de AG₃ no tuvo efecto en el área foliar (Boschi *et al.*, 1998). En *Solanum lycopersicum*, la aplicación combinada de 1x10⁻⁸ M de ácido salicílico +12 mg L⁻¹ de AG₃ disminuyó el AFE y la RAF de 270 a 230 y de 120 a 82 cm² g⁻¹ respectivamente (Ramírez-Zambrano, 2015). Valores altos de AFE o RAF indican mayor actividad metabólica relacionada con la producción de fotoasimilados. Por ejemplo, en *Gossypium barbadense* la RAF es mayor en la fase de plántula (79.2 cm² g⁻¹) que en la etapa reproductiva (23.2 cm² g⁻¹), ya que, en las primeras fases de crecimiento se requiere invertir fotoasimilados para consolidar el aparato fotosintético, mientras que, en la fase de floración éstos se translocan hacia los órganos reproductivos que se han convertido en demanda (Orozco-Vidal *et al.*, 2011). En *Lisianthus 'Mariachi Blue'*, el AF y el AFE no se modificaron por la aplicación de AG₃, pero la RAF disminuyó, lo cual sugiere que el AG₃ promovió la translocación de fotoasimilados a los órganos demandantes como hojas jóvenes, raíces y botones florales.

8.2.3 Distribución de biomasa seca: Raíz, tallo, hoja y relación raíz/vástago

La biomasa seca de raíces y hojas fue de 0.58 y 2.02 g sin presentar diferencia significativa entre las concentraciones de AG₃, mientras que la biomasa seca de tallo fue mayor (2.2 g en promedio) con la aplicación de 50, 100 o 150 mg L⁻¹ de AG₃. La relación raíz/vástago disminuyó de 0.177 a 0.143 a partir de 50 mg L⁻¹ de AG₃ (Cuadro 3).

Cuadro 3. Distribución de biomasa seca en *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.

Ácido giberélico (mg L ⁻¹)	Biomasa seca (g)			Relación raíz/vástago
	Raíz	Tallo	Hojas	
0	0.51 a	0.98 c	1.83 a	0.177 a
25	0.61 a	1.60 bc	2.24 a	0.165 ab
50	0.56 a	1.96 a	2.12 a	0.136 b
100	0.64 a	2.33 a	2.13 a	0.136 b
150	0.59 a	2.31 a	1.80 a	0.143 b
DHS	0.15	0.69	0.58	0.031
CV (%)	18.58	27.75	21.16	15.63

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

En plántulas de *Rhapis excelsa* (palmera bambu), la aplicación de 75 mg L⁻¹ de AG₃ incrementó la biomasa seca de raíces y hojas de 2.91 a 3.56 y de 3.26 a 3.83 mg (Tavares *et al.*, 2007). En *Musa sp.* var. Prata-Anã (platano), la biomasa seca de raíces se incrementó de 2.5 a 3.8 g y de la parte aérea hasta 9.5 g en respuesta a la aplicación foliar de 30, 60 o 90 μ mol L⁻¹ de AG₃, pero disminuyó a 3 y 6.5 g respectivamente cuando se aplicaron 120 o 150 μ mol L⁻¹ de AG₃ (Carvalho *et al.*, 2005).

La relación R/V se define como el cociente de la biomasa seca de raíz entre la biomasa seca de la parte aérea. Un cambio en la biomasa de cualquiera de éstos conlleva a un desbalance de la relación R/V.

En *Lisianthus* 'Mariachi Blue', la relación R/V siempre fue ≤ 0.177 , lo cual indica una producción de biomasa seca al menos cinco veces mayor en las hojas y tallos con respecto a las raíces. En condiciones de estrés hídrico se esperarían valores cercanos a 1.0, ya que la parte subterránea de la planta se extenderá en búsqueda de agua. Sin embargo, en cultivos hidropónicos como en este experimento el riego no fue limitante, por lo que los cambios en la relación R/V se atribuyeron a las concentraciones de AG_3 . Taiz y Zeiger, (2010) mencionan que el vástago se desarrollará con el aporte de agua y elementos esenciales que provienen del sistema radical, mientras que el desarrollo de las raíces dependerá de la translocación de fotoasimilados que provienen de las hojas fotosintéticamente activas. Los cambios de estas relaciones dependen de las características de los cultivares, de estreses ambientales o de tratamientos aplicados. En este caso, la disminución de la relación R/V por efecto del AG_3 se atribuyó a la altura mayor de los tallos florales, lo que conllevó a mayor producción de biomasa seca con respecto a las raíces.

8.2.4 Anatomía cuantitativa de los tallos florales

En los tallos florales de *Lisianthus* 'Mariachi Blue', el grosor de la cutícula se incrementó de 3.47 μm (control) a 4.86 o 4.49 μm por la aplicación de 50 o 150 mg L^{-1} de AG_3 respetivamente. El área de xilema y el número de vasos solitarios se incrementaron 1.7 y 3.7 veces con respecto al control, mientras que el número promedio de los vasos agrupados fue de 3.27 sin diferencias entre tratamientos. Las capas de parénquima disminuyeron de 7.36 (control) a 5.13 o 5.73 para las concentraciones de 50 o 150 de AG_3 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Atributos anatómicos evaluados en la parte media de tallos florales de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivado con cinco concentraciones de ácido giberélico.

Ácido giberélico (mg L^{-1})	Grosor de la cutícula (μm)	Capas de parénquima	Área de xilema (mm^2)	Número de vasos mm^{-2}	
				Solitarios	Agrupados
0	3.47 c ^z	7.36 a	1.29 b	1.50 b	3.28 a
50	4.86 a	5.13 c	1.61 b	5.60 a	3.13 a
150	4.49 b	5.73 b	2.26 a	5.50 a	3.40 a
DHS	0.22	0.24	3.49	1.87	0.70
CV (%)	13.28	10.16	8.11	29.17	29.06

^z Letras iguales en cada columna indican que no hubo diferencias entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).

DHS, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación. Cada dato es el promedio de tres repeticiones.

En *Rosa hybrida* 'Lovely Red' y 'Rouge Baiser' Cohen *et al.*, (2012) investigaron las diferencias micromorfológicas y anatómicas del tallo y observaron de 12 a 14 capas de células parenquimáticas en ambos cultivares. El número de vasos fue de 267 y 308 vasos por mm^2 para "Lovely Red" y "Rouge Baiser" respectivamente, la mayoría de los vasos fueron solitarios. En bulbos de *Lilium* cv. Arcachon sumergidos por 24 horas en 200 mg L^{-1} de AG_3 , el número de vasos aumentó de 62 a 105 por mm^2 y el área del xilema se mantuvo sin cambios (0.0092 mm^2) (Torres-Pio *et al.*, 2021). En tallos florales de *Lisianthus* 'Mariachi Blue', el número de vasos solitarios también se incrementó por aplicar 150 mg L^{-1} de AG_3 , mientras que los agrupados se mantuvieron sin cambios. El

área del xilema de *Lisianthus* es mayor comparado de *Lilium* cv. Arcachon. Un mayor número de vasos o área del xilema significaría mayor volumen de flujo de agua a través del tallo floral.

9.0 CONCLUSIONES

- ❖ La aplicación foliar de ácido giberélico en concentraciones que van de 25 a 150 mg L⁻¹ incrementan la altura de la planta y el número de hojas, pero no afectan el diámetro del tallo de *Lisianthus* 'Mariachi Blue'.
- ❖ En las hojas de *Lisianthus* 'Mariachi Blue', el índice de verdor es afectado negativamente por la aplicación de ácido giberélico durante la fase vegetativa, pero en la fase de floración se incrementa.
- ❖ Las plantas de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' cultivadas con ácido giberélico tienen tallos delgados, altos con follaje abundante, pero poco brillante.
- ❖ El número de botones florales, yemas vegetativas, nudos y la longitud de entrenudos de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' se incrementa con la aplicación de 100 o 150 mg L⁻¹ de ácido giberélico.
- ❖ El área y área foliar específica no se afectan por la aplicación ácido giberélico, pero la razón de área foliar disminuye con 100 o 150 mg L⁻¹ de AG₃.
- ❖ La aplicación foliar de AG₃ durante el cultivo de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' no afecta la biomasa seca de raíces y hojas, pero incrementa el peso seco del tallo y disminuye la relación raíz/vástago a partir de 50 mg L⁻¹ de AG₃.
- ❖ El grosor de la cutícula de los tallos florales de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' se incrementa por la aplicación de 50 o 150 mg L⁻¹ de AG₃, lo que disminuye la pérdida de agua y contribuye a mantener la turgencia celular.
- ❖ Disminuir la frecuencia (una vez por semana) y el tiempo (durante un mes) de la aplicación de AG₃.

10.0 LITERATURA CITADA

- Alcantara-Cortes, J. S., J. Acero-Godoy, J. D. Alcantara Cortes y R. M. Sanchez-Mora. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*. 17(32):109-129. <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Alía-Tejagal, I., L. A. Valdez-Aguilar, E. Campos-Bravo, M. J. Sainz-Aispuro, G.A. Pérez-Arias, M. T. Colinas-León, M. Andrade-Rodríguez, V. López-Martínez, y A. Alvear-García. (2011). Efecto de la aspersion de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3:577-589. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2nspe3/vspen3a14.pdf>
- Ávila, A. de L., S. M. Pereyra y D. Morisigue (2007a). *Evaluación del comportamiento varietal de Lisianthus (Eustoma Grandiflora SHINN) en plantaciones de otoño en la provincia de Córdoba*. 9º Jornadas Nacionales de Floricultura. Pp. 81-82.
- Ávila, A. de L. y S. M. Pereyra. (2015). Cultivo de Lisianthus. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Documentos de Divulgación Científica PROGRAMA PROTRI Pp. 81-82.
- Baldomero-Roberto, O., E. J. Morales-Rosales, G. Estrada-Campuzano, F. Gutiérrez-Rodríguez, G. Salgado-Benítez y P. Saldívar-Iglesias. (2014). Factores agroclimáticos y manejo agronómico de *Eutoma grandiflorum* (Raf) Shinn para flor de corte. *Ciencias agrícolas Informa*. 23(2): 31-35.
- Bearder, J. R., J. MacMillan, C. M. Wels, M. B. Chaffey y B. O. Phinney, (1974). Position of the metabolic block for gibberellin biosynthesis in mutant BI-41a of *Gibberella fujikuroi*. *Phytochemistry*. 13:911-917. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)91422-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)91422-5)
- Boschi, C., D. Benedicto, J. Molinari y A. Di Benedetto. (1998). La aplicación de ácido giberélico en *Anthurium scherzeranum* respuestas sobre el follaje y la inflorescencia. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 18(1-2):89-92. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/revista/facultadagronomia/1998boschic.pdf>
- Bottini, R., F. Cassán y P. Piccoli. (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. *Appl Microbiol Biotechnol*. 65(5):497–503 <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1696-1>

- Carvalho, J. A. B. S., C. P. Peixoto, S. O. Silva, C. A. S. Ledo, M. F. S. P. Peixoto y J. S. Alves. (2005). Uso da giberelina GA₃ na seleção do porte de bananeira das cultivares prata e prata-anã. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 27(3):449-453. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000300026>
- Casierra-Posada, F. y J. Cárdenas-Hernández (2009). Crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L. var. Porva) en solución nutritiva con baja relación (Ca²⁺ Mg²⁺ K⁺) /Al. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*. 12(2):91-100. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262009000200010
- Cho, M. S., F. G. Celikel, L. Dodge y M. S. Reid. (2001). Sucrose enhances the postharvest quality of cut flowers of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Acta Horticulturae* 543:305-315. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.543.37>
- Cohen, G., L. Mascarini y C.C. Xifreda. (2012). Anatomía y micromorfología de hojas y tallos de dos cultivares de *Rosa hybrida* L. para flor de corte. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 81:199-204. <http://revistaphyton.fundromuloraggio.org.ar/vol81/28-COHEN.pdf>.
- Cruz, C. E., G. L. Arévalo, M. R. Cano y A. E. A. Gaytán (2006). Soluciones pulso en la calidad poscosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. 'Echo Blue'. *Agricultura Técnica en México*. 32:191-200. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000200007
- De La Riva-Morales F. P., P. C. Mazuela-Águila y M. Urrestarazu-Gavilán. (2013). Comportamiento productivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19:141-150. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2013000200001&lng=es&nrm=iso
- Dole, J. M. y H. F. Wilkins (2005). *Floriculture. Principles and species*. Pearson Prentice Hall. 1021 p.
- Domínguez, A. (2002). Cultivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Flores de Altura A.M. <http://www.uaaan.mx/postgrado2/images/files/hort/simposio2/Ponencia07.pdf>.
- Dorcey Eavan. (2007). *Regulación hormonal del desarrollo temprano del fruto en Arabidopsis Thaliana*. (Tesis Doctoral). Universidad de Valencia. España.

- Ecker, R., A. Barzilay y E. Osherenko. (1994). The genetic relations between length of time to germination and seed dormancy in lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Euphytica*. 80:125-128. <https://doi.org/10.1007/BF00039307>
- El-Showk, S., R. Ruonala e Y. Helariutta. (2013). Crossing paths: cytokinin signalling and crosstalk. *Development* 140: 1373–1383. <https://doi.org/10.1242/dev.086371>
- Fernández, J. A., J. Ochoa, H. Alcala, D. J. Peñapareja, E. Conesa y S. Bañón. (2008). Efecto de la aplicación de ácido giberélico sobre el crecimiento y floración de *Iris lutescens* en maceta. *Acta de Horticultura Ornamental*. 52:61-64. <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2052.%20IV%20Jornadas%20Ib%C3%A9ricas%20de%20Horticultura%20Ornamental/Comunicaciones/Efecto%20de%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20%C3%A1cido%20giber%C3%A9lico%20sobre%20el%20crecimiento%20y%20floraci%C3%B3n%20de%20Iris%20lutescens%20en%20maceta.pdf>
- Fernández-Pavía, Y. L., y L. I. Trejo-Téllez. (2018). Biología, importancia económica y principales líneas de investigación en lisianthus: una especie ornamental nativa de México. *AGROProductividad*. 11(8):177
- Garay-Arroyo A., M. de la Paz Sánchez, B. García-Ponce, E. R. Álvarez-Buylla y C. Gutiérrez. (2014). La Homeostasis de las Auxinas y su Importancia en el Desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. *REB Revista de Educación bioquímica*. 33(1):13–22. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S166519952014000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- George, E. F., M. A. Hall y G. J. Klerk. (2008). Plant Growth Regulators I: Introduction; Auxins, their Analogues and Inhibitors. In: *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition*. p. 1–501.
- Gupta, R. y S. K. Chakrabarty. (2013). Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. *Plant Signal Behav.* 8(9). <https://doi.org/10.4161/psb.25504>
- Halevy, H. y A. M. Kofranek. (1984). Evaluation of lisianthus as a new flower crop. *Hortscience* 19(6):845-847.
- Hanks, G. (2015). A review of production statistics for the cut-flower and foliage sector 2015 parte f AHDB Horticulture funden Project PO BOF 002a). The National Cut Flower Centre. UK. 102 p.

- Harbaugh, B. K. (1995). Flowering of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. Cultivars Influenced by photoperiod and Temperature. *Horticultural Science* 30(7):1375-1377. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.7.1375>
- Harbaugh, B. K. (2007). Chapter 24. Lisianthus. In: Anderson N. O. (ed.). Flower Breeding and Genetics. Springer: Berlin, Germany. pp. 645-663.
- Hernández-Murguía, I. (2017). *Efecto del fotoperíodo y el ácido giberélico sobre el desarrollo de Cymbidium sp.* (Tesis de Maestra en Ciencias Biológicas) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Mexico.
- Huetteman, C. A. y J. Preece. (1993). Thidiazuron: a potent cytokinin for woody plant tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 33:105-119. <https://doi.org/10.1007/BF01983223>
- Huxley, A. M., M. Griffiths, y M. Levy (1992). *Eustoma*. In: the new royal horticultural society dictionary of gardening. V. 2. Stockton Press. New York. 271 p.
- Kieber, J. J. y E. G. Schaller, (2018). Cytokinin signaling in plant development. *Development* 145. <https://doi.org/10.1242/dev.149344>. p: 1.
- López- Calle, Z. M. (2018). *Efecto de concentración de ácido giberélico en la germinación y crecimiento de plántulas de papaya (Carica papaya L.), bajo condiciones de vivero.* (Tesis de Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Piura. Perú.
- Manrique, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz. *Ecosistemas*. 21(1):1-11. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/250>
- Menglares de Aguilar, J. (1996). El cultivo del Lisianthus. Primera parte. *Horticultura*. 113:13-16. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1996_113_13_16.pdf
- Melgares de Aguilar, J. (2002). El cultivo del lisianthus para flor cortada. <http://www.terra.es/personal4/jmacmu/ornamentales/lisiflor.htm>.
- Mok, D. y Mok, M. (2001). Cytokinin Metabolism and action. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 89-91.
- Monsalves-Pérez, K. A. (2015). *Efecto de la aplicación de ácido giberélico sobre la floración de dos variedades de lisianthus (Eustoma gradiflorum (Raf.) Shinn)* (Tesis de Ingeniera Agrónoma) Universidad de Chile. Chile.

- Ohkawa, K., A. Kano, K. Kanematsu y M. Korenaga. (1991). Effects of air temperature and time on rosette formation in seedlings of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Journal Scientia Horticulturae*. 48(1):171-176. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90164-T](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90164-T)
- Olszewski, N., T-p. Sun y F. Gubler. (2002). Gibberellin signaling: biosynthesis, catabolism, and response pathways. *Plant Cell* S61-S80.
- Orozco-Vidal, J. A., P. Yescas-Coronado, M. A. Segura-Castruita, R. Valdez-Cepeda, E. Martínez-Rubín de Celis, J. A. Montemayor-Trejo, M. Fortis-Hernández y P. Preciado-Rangel (2011). Análisis del crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*. 80:47-52. http://www.revistaphyton.fundromuloraggio.org.ar/vol80/Orozco-Vidal_2011.pdf
- Ortega-Martínez, L. D., J. Ocampo-Mendoza, C. Martínez Valenzuela, A. Pérez Serrano y J. Sánchez Olarte. (2013). Efecto de las giberelinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de tomate. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. 15(3):54-60. <https://doi.org/10.18633/bt.v15i3.159>
- Ortiz, S. C. A. (1987). Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 327 p.
- Padrón-Chan, A. M., E. Villanueva-Couoh, J. Cristobal-Alejo, R. Garruña-Hernandez y F. A. Moo-Koh. (2021). Lisianthus una hermosa planta ornamental, poco conocida y de gran potencial. CONACYT, CICY. 13:29-35. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2021/2021-02-11-APadron-Chan-et-al._Lisianthus.pdf
- Papone, L. M. (2011). Lisianthus: toda una novedad dentro del mercado de flores de corte. http://inta.gob.ar/documentos/_lisianthus-todavia-una-novedad-dentro-del-mercado-de-flores-de-corte/
- Pérez de Camacaro, M., M. Ojeda, N. Mogollón y A. Giménez. (2013). Efecto de diferentes sustratos y ácido giberélico sobre el crecimiento, producción y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cv. Camarosa. *Bioagro*. 25(1):31-38. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85726736007.pdf>
- Ramírez-Zambrano, R. (2015). Análisis del crecimiento desarrollo y rendimiento de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) cv. Brandywine bajo el efecto de dos

- bioreguladores*. (Tesis de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.
- Reed, D. (1999). Agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernaderos. Ball Publishing. USA.
- Ruzin, S. E. (2000). Plant microtechnique and microscopy. *New phytol* 148:57-58 p. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00735.x>
- SAGARPA-SICDE. (2010). Alternativa de negocio florícola. <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/notanota.php?accion=buscar¬ald=19141473054bc87b0400687>.
- Salazar, C. H. A. (2008). Evaluación de materiales genéticos del cultivo de *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*), bajo diferentes densidades de siembra, en condiciones ambientales controladas en la región de El Tejar Chimaltenango. Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología. Guatemala. 88 p.
- Sarkar, M. A. H., M. I. Hossain, A. F. M. J. Uddin, M. A. N. Uddin y M. D. Sarkar. (2014). Vegetative, floral and yield attributes of gladiolus in response to gibberellic acid and corm size. *Scientia Agriculturae*. 7(3):142-146 <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2014.3.3.142146>
- Schmidt, C. M., R. A. Bellé, C. Nardi y K. Toledo dos Anjos. (2003). The gibberellic acid (GA3) in the cut chrysanthemum (*Dedranthema grandiflora* Tzevelev.) viking planting summer/autumn. *Ciência Rural*. 33(2):267-274. <https://www.redalyc.org/pdf/331/33133214.pdf>
- Sedagathoor, S. y P. Zakibakhsh-Mohammadi. (2019). Effect of time of application and amounts of mammalian sex hormone progesterone and gibberellic acid on the growth of *Zinnia elegans*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 25(1):61-73. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1027-152X2019000100061&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Simón, S. y J. Petrásek. (2011). Why plants need more than one type of auxin. *Plant Science*. 180(3):454-460 <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.12.007>.
- Spaepen, S., J. Vanderleyden y R. Remans. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4):425-448. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>

- Spaepen, S. y J. Vanderleyden. (2011). Auxin and Plant –Microbe Interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 3(4):a001438. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001438>.
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15:134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>.
- Taiz, L. y E. Zeiger, (2004). Fisiología Vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 719 pp.
- Taiz, L. y E. Zeiger, (2010). Plant Physiology, 5edition. Massachusetts, USA. Sinauer associates.
- Taiz, L., E. Zeiger, I. M. Moller, y A. Murphy. (2015). Plant physiology and development. Sixth edition.
- Tavares, A., F. F. A. Alves, M. Sado, S. Kanashiro, E. P. Chu, G. P. P. Lima, B. L. Petterson y V. M. Aparecida. (2007). Efeito da aplicação de ácido giberélico no crescimento da Palmeira-Ráfia. *Sociedade de Investigações Florestais*. 31(6):999-1004. <https://www.redalyc.org/pdf/488/48831603.pdf>
- Tejeda-Martínez, A., I. R. Méndez-Pérez, N. Catalina-Rodríguez y E. Tejeda-Zacarías. (2018). La humedad en la atmosfera. Universidad de Colima. México. P. 36.
- Torres-Pio, K., G. H. De la Cruz-Guzmán, M. L. Arévalo-Galarza, S. Aguilar-Rodríguez, D. Grego-Valencia, A. Arriaga-Frías y M. Mandujano-Piña. (2021) Morphological and anatomical changes in *Lilium* cv. Arcachon in response to plant growth regulators. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 62: 325-335. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00319-6>
- Verdugo, R. G. (2007). Producción de flores cortadas. Ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. p. 71.
- Yong, J. W. H., L. Ge, Y. F. Ng y Tan S. N. (2009). The Chemical Composition and Biological Properties of Coconut (*Cocos nucifera* L.) Water. *Molecules*. 14(12):5144-5164. <http://www.mdpi.com/1420-3049/14/12/5144/>
- Zaccai, M. y N. Edri. (2002). Floral transition in lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Scientia Horti-culturae* 95(4):333–340. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00057-2)

11.0 LITERATURA DE INTERNET

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5158.3609> [último acceso 17 de agosto de 2021].

<https://georgiusm.files.wordpress.com/2017/11/tema-10-giberelinas.pdf> [último acceso 17 de agosto de 2021].

<https://www.tropicos.org/name/Search?name=Lisianthus> [último acceso 18 de agosto de 2021].

<https://www.naturalista.mx/taxa/128610-Eustoma-grandiflorum> [último acceso 18 de agosto de 2021].