



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

**APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) Y
BENCILAMINOPURINA (6-BAP) EN EL CRECIMIENTO Y VIDA
POSCOSECHA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* (RAF.)
SHINN.) CV. MARIACHI BLUE PARA FLOR DE CORTE**

OCTAVIO ALBERTO REYES ESPINOSA

BAJO LA SUPERVISIÓN DE ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ, DRA.



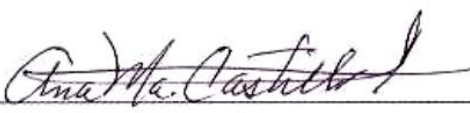
Chapingo, Estado de México, diciembre 2020



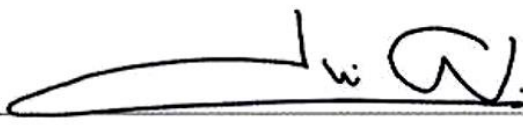
**APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) Y
BENCILAMINOPURINA (6-BAP) EN EL CRECIMIENTO Y VIDA
POSCOSECHA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* (RAF.)
SHINN.) CV. MARIACHI BLUE PARA FLOR DE CORTE**

Tesis realizada por **Octavio Alberto Reyes Espinosa** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ

ASESOR: 
DR. EDILBERTO AVITIA GARCÍA

ASESOR: 
DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR

Chapingo, México, noviembre de 2020.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS	v
AGRADECIMIENTOS.....	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN GENERAL.....	x
GENERAL SUMMARY	xi
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 LITERATURA CITADA.....	3
CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Importancia de la floricultura.....	4
2.2 Lisianthus.....	5
2.3 Origen y descripción botánica de lisianthus	5
2.4 Importancia económica de lisianthus	6
2.5 Etapas del cultivo de lisianthus	7
2.6 Exigencias y manejo del cultivo de lisianthus	7
2.6.1 Luz y temperatura	7
2.6.2 Suelo.....	9
2.6.3 Nutrición y fertilización	9
2.6.4 Solución nutritiva.....	10
2.6.4.1 Solución nutritiva de Steiner	10
2.6.5 Riego.....	10
2.6.6 Propagación y trasplante.....	11
2.6.7 Plagas y enfermedades.....	12
2.6.8 Cosecha y cuidados postcosecha.....	12
2.7 Reguladores del crecimiento	13

2.7.1	Citocininas.....	15
2.7.1.1	6-Bencilaminopurina (6-BAP)	15
2.7.2	Giberelinas.	16
2.7.2.1	Ácido giberélico (AG ₃)	18
2.8	LITERATURA CITADA	21
CAPITULO 3 APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) Y BENCILAMINOPURINA (6-BAP) EN EL CRECIMIENTO Y VIDA POSCOSECHA DE LISIANTHUS (<i>Eustoma grandiflorum</i> (RAF.) SHINN.) CV. MARIACHI BLUE PARA FLOR DE CORTE		26
RESUMEN		26
ABSTRACT		27
3.1	INTRODUCCIÓN	28
3.2	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.2.1	Localización.....	29
3.2.2	Condiciones ambientales	29
3.2.3	Sustrato	30
3.2.4	Riegos	30
3.2.5	Material vegetal	31
3.2.6	Tratamientos	32
3.2.7	Diseño experimental.....	33
3.2.8	Manejo de plagas y enfermedades	33
3.2.9	Variables evaluadas	34
3.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.3.1	Altura de la planta	38
3.3.2	Diámetro del tallo	40
3.3.3	Peso fresco de la parte aérea	42
3.3.4	Raíz.....	44
3.3.5	Flor	46
3.3.6	Diámetro del botón floral	48
3.3.7	Número de botones florales	50

3.3.8	Número de pares de hojas	52
3.3.9	Número de brotes laterales	53
3.3.10	Longitud de brotes laterales	55
3.3.11	Peso seco.....	57
3.3.12	Número de botones pequeños	59
3.3.13	Vida poscosecha.....	60
3.3.14	Correlación de Pearson para variables discretas	61
3.3.15	Correlación de Spearman para variables discretas.....	63
3.3.16	Correlación canónica.....	65
3.3.17	Correlación canónica entre crecimiento parte aérea (tallo floral) y el crecimiento de raíz de lisianthus.	65
3.3.18	Correlación canónica entre el crecimiento de la parte aérea y el crecimiento de la flor de lisianthus	66
3.3.19	Correlación canónica entre el crecimiento de la flor y el crecimiento de la raíz de lisianthus.....	68
3.4	CONCLUSIONES	69
3.5	LITERATURA CITADA	70

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo de cultivo de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones.	30
Cuadro 2. Composición de la solución nutritiva utilizada en lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue.	31
Cuadro 3. Tratamientos foliares con ácido giberélico (AG ₃) y 6-bencilaminopurina (6-BAP), aplicados a lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue.	32
Cuadro 4. pH promedio de los tratamientos con reguladores del crecimiento aplicados vía foliar a lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue.	33
Cuadro 5. Variables de raíz de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones.	45
Cuadro 6. Variables de crecimiento de la flor de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones.	47
Cuadro 7. Correlación de Pearson para variables discretas de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones.	62
Cuadro 8. Correlación de Spearman para variables discretas de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones.	64
Cuadro 9. Medidas de ajuste global del modelo para el análisis de correlación canónica de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ + 6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	38
Figura 2. Diámetro del tallo de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	41
Figura 3. Peso fresco de parte aérea de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	43
Figura 4. Diámetro del botón floral de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	49
Figura 5. Número de botones florales de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-	

Wallis. La prueba se realiza tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.....	51
Figura 6. Pares de hojas de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba se realizó tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.....	52
Figura 7. Número de brotes laterales de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba se realizó tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.....	54
Figura 8. Longitud de brotes laterales de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ + 6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	56
Figura 9. Peso seco total de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ + 6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	57
Figura 10. Número de botones pequeños (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-	

Wallis. La prueba se realizó tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.....	59
Figura 11. Vida post cosecha de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG ₃ +6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, p<0.05). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.	60
Figura 12. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales.....	66
Figura 13. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales.....	67

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por abrir sus puertas para realizar mis estudios de Posgrado y darme la oportunidad de convertirme en parte de su comunidad.

A la Dra. Ana María Castillo González por su gran profesionalismo, compromiso, paciencia y ayuda para la realización y finalización de este programa de Maestría.

A los doctores Luis Alonso Valdez Aguilar, y Edilberto Avítia García por sus valiosas sugerencias para la realización de este trabajo.

A la Dra. Carmen Ybarra por la ayuda brindada para los análisis estadísticos presentados en la tesis.

A mis compañeros de la Maestría en Ciencias en Horticultura por su amistad y apoyo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Octavio Alberto Reyes Espinosa nació el 22 de marzo de 1991 en la Ciudad de México; donde realizó sus estudios de nivel medio y superior en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) obteniendo el título de Licenciado en Biología en el año 2015. Realizo un seminario en Desarrollo Sostenible en la Facultad de estudios superiores Zaragoza.

Profesionalmente de 2016 a 2017 se desempeñó como facilitador en la Asociación Mexicana para las Naciones Unidas de Jóvenes, AMNU Jóvenes A.C en el programa Ciencia para compartir. De junio de 2017 diciembre de 2018 se desempeñó como docente en la Universidad Estatal del Valle de Ecatepec; UNEVE y en la Universidad del Valle de México UVM.

RESUMEN GENERAL

APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO (AG_3) Y BENCILAMINOPURINA (6-BAP) EN EL CRECIMIENTO Y VIDA POSCOSECHA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* (RAF.) SHINN.) CV. MARIACHI BLUE PARA FLOR DE CORTE

Entre las flores de corte el lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) es una especie poco cultivada en relación con otras plantas ornamentales como la rosa; sin embargo, durante la última década ha aumentado su consumo a nivel internacional, debido a su excelente vida en florero y su variedad de colores, no obstante, la información disponible en cuanto a su nutrición y el uso de reguladores es aún escasa. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de ácido giberélico (AG_3) solo y en combinación con 6-bencilaminopurina (6-BAP) en el crecimiento, y vida poscosecha de lisianthus cv. Mariachi Blue. Para lo cual se manejaron 10 tratamientos de AG_3 +6-BAP en $mg\ L^{-1}$ (25+0, 50+0, 100+0, 25+10, 50+10, 100+10, 25+20, 50+20, 100+20 y testigo, sin aplicación) que fueron aplicados foliarmente cada 3 semanas hasta la aparición de los primeros botones florales (7 aplicaciones). El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Las plantas fueron cultivadas en tezontle rojo (2-3 mm de diámetro) con solución nutritiva de Steiner al 100 % en invernadero. No existió interacción entre ambos reguladores. Los tratamientos que promovieron un mejor crecimiento fueron 50+0 y 100+0 ya que el AG_3 aumentó al menos 15 cm la altura de la planta, 17 % el diámetro del tallo, 59.17 % el peso fresco de la parte aérea y hasta un 133 % el número de botones florales con respecto al testigo. Por otro lado, todos los tratamientos con 6-BAP aumentaron el número de brotes laterales al menos 7 veces con respecto a los que no tenían 6-BAP incluyendo al testigo. Sin embargo, ninguno de los tratamientos tuvo un efecto significativo en la vida poscosecha.

Palabras clave: *Eustoma grandiflorum*, AG_3 , 6-BAP, solución nutritiva, vida poscosecha.

GENERAL SUMMARY

FOLIAR APPLICATION OF GIBBERELIC ACID (AG₃) AND BENZYLAMINOPURINE (6-BAP) IN THE GROWTH AND POST-HARVEST LIFE OF LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* (RAF.) SHINN.) CV MARIACHI BLUE FOR CUTTING FLOWER

The lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) is a little cultivated species among the cutting flowers in relation to other ornamental plants such as the rose; however, during the last decade its consumption has increased at international level due to its excellent vase life and its variety of colors, but the available information regarding its nutrition and the use of regulators is still scarce. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of foliar application of gibberellic acid (AG₃) alone and in combination with 6-benzylaminopurine (6-BAP) on growth, and postharvest life of lisianthus cv. Mariachi Blue. Ten treatments of AG₃+6-BAP in mg L⁻¹ (25+0, 50+0, 100+0, 25+10, 50+10, 100+10, 25+20, 50+20, 100+20 and one control, without application) were handled for this purpose; the treatments were foliarly applied every 3 weeks until the emergence of the first flower buds (7 applications). The experimental design was completely randomized, with five replicates per treatment. The plants were grown in red tezontle (2-3 mm diameter) with 100% Steiner nutrient solution in a greenhouse. There was no interaction between the two regulators. The treatments that promoted a better growth were 50+0 and 100+0 since AG₃ increased at least 15 cm the height of the plant, 17% the diameter of the stem, 59.17% the fresh weight of the aerial part and up to 133% the number of flower buds regarding the control. On the other hand, all treatments with 6-BAP increased the number of side shoots at least 7 times compared to those without 6-BAP including the control. However, none of the treatments had a significant effect on post-harvest life.

Keywords: *Eustoma grandiflorum*, AG₃, 6-BAP, nutrient solution, post-harvest life.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Entre las flores de corte el lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) es una especie poco cultivada en relación con otras plantas ornamentales como la rosa; sin embargo, durante la última década ha aumentado su producción, así como su consumo a nivel internacional, debido a su gran diversidad de colores, su estructura estética y su larga vida en florero; en México a pesar de este crecimiento, aún no se ha explorado todo el potencial productivo y económico que posee; por esta razón la información existente acerca de este cultivo es insuficiente (De la Riva-Morales *et al*, 2013).

El uso de reguladores de crecimiento es una práctica muy común en la producción de plantas ornamentales en maceta para obtener características deseadas, obtener plantas más compactas, romper la dominancia apical y favorecer la producción de brotes laterales, para la producción de un mayor número de flores. Muchos productores utilizan reguladores de crecimiento para mejorar la calidad estética y reducir los costos, conservarlas pequeñas e incrementar la cantidad que se envía por transporte terrestre o aéreo.; esto los convierte en un tópico importante de conocimiento y experimentación sobre todo en especies como el lisianthus, en la que no hay información o ésta es muy escasa. Las plantas ornamentales por su carácter no comestible, permiten una oportunidad de experimentación más amplia que en otros cultivos para poder alcanzar los parámetros de calidad óptimos para su comercialización.

Aunque se han realizado experimentos con giberelinas en lisianthus y se sabe que estas pueden sacar a la planta del arrosetamiento (Harbaguh *et al*, 1992), el papel de éstas en el cultivo continúa siendo explorado bajo diversas condiciones. Por otro lado, es conocido que las citocininas promueven la división y diferenciación celular (Weiss y Ori, 2007); sin embargo, no hay muchos antecedentes con respecto a su efecto particular en esta especie ornamental, por lo que la información sobre ambos reguladores del crecimiento y su acción en lisianthus es aún limitada.

1.1 OBJETIVOS

1. Evaluar el efecto de la aplicación foliar de ácido giberélico (AG_3) solo y en combinación con bencilaminopurina (6-BAP) en el crecimiento, y vida postcosecha del tallo floral en lisianthus cv. Mariachi Blue para flor de corte.
2. Determinar si existe un tratamiento adecuado, desde el punto de vista fisiológico y económico, para obtener el mejor crecimiento y calidad de la flor en lisianthus.

1.2 LITERATURA CITADA

- De La Riva-Morales, F.P., Mazuela-Águila, P.C., y Urrestarazu-Gavilán, M. 2013. Comportamiento productivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) en cultivo sin suelo. Revista Chapingo Serie Horticultura, 19(2): 141-149.
- Harbaugh, B.K., Roh, M.S., Lawson, R.H. & Pemberton, B. 1992. Rosetting of lisianthus cultivars exposed to high temperature, HortScience, 27(8):885-887.
- Weiss, D. y Ori, N. 2007. Mechanisms of cross talk between gibberellin and other hormones. Plant Physiology. 144:1240-1246.

CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la floricultura

La floricultura o actividad florícola en sentido amplio se define como aquella actividad destinada al cultivo de flores de corte o de plantas ornamentales para uso decorativo que es llevada a cabo en una explotación florícola y cuyo destino final es la comercialización (Morisigue *et al.*, 2012). El comercio de flores cortadas hoy en día es una industria importante en los países tanto desarrollados como en desarrollo, cuyo valor estimado a nivel global es de más de 100,000 millones de dólares al año. Por ejemplo, el valor total de las flores cortadas producidas en Estados Unidos aumentó de \$ 403 millones en 2009 a \$ 462 millones en 2014 (SAF, 2015).

Aunque no está entre los cinco principales exportadores de flores, donde Holanda, Colombia, Ecuador, Etiopía y Kenia son líderes, México ocupa el tercer lugar a nivel mundial en superficie destinada al cultivo de plantas ornamentales, con al menos 22 mil hectáreas, de donde únicamente el 10 por ciento se destina a la exportación y el resto se comercializa dentro del país, el cual está centralizado en las tres principales regiones metropolitanas del país: Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey (INAES, 2018); Por estas razones la apertura económica de la floricultura mexicana es baja, que se reduce cada vez ya que el sector importador está más abierto que el exportador (Ramírez y Avitia-Rodríguez, 2017). Sin embargo, la floricultura es una de las actividades agrícolas con mayor rentabilidad en México, el país tiene la capacidad de ser potencia exportadora en este rubro. Diversas ventajas competitivas como su posición geográfica con puertos comerciales ubicados en dos océanos, su cercanía con los Estados Unidos como uno de los principales mercados y la firma de tratados de libre comercio, que le permiten el acceso a más de 40 mercados internacionales, pueden hacer que México ocupe la primera posición en la exportación de flores a nivel mundial (Tejeda-Sartorius *et al.*, 2015).

2.2 Lisianthus

Es una planta de ciclo anual o bienal. Forma una roseta de hojas, sobre la que se desarrolla un tallo de 40 o 50 cm de largo en cuyo extremo aparecen las flores largamente pediceladas de 6 a 9 centímetros de diámetro y de colores entre el azul y el púrpura, en las variedades silvestres (De la Riva-Morales *et al.*, 2013).

2.3 Origen y descripción botánica de lisianthus

El lisianthus es una planta originaria de las praderas húmedas de la zona meridional de los Estados Unidos y norte de México. Perteneció a la familia de las Gencianáceas, su nombre científico es *Eustoma grandiflorum*. Su reproducción se realiza normalmente por semilla, aunque también se puede hacer por esqueje o por cultivo in vitro (ICAMEX, 2011).

Es una planta de ciclo anual o bianual, que se puede cultivar en estructuras sencillas y de pocos requerimientos culturales y mano de obra, su nombre científico es *Eustoma grandiflorum* (Raf.) (Sinónimo *Eustoma russellianum*). Las ramas basales se pueden definir como tallos laterales que se originan de las axilas del grupo basal de hojas (Gabriel *et al.*, 2012).

La planta de lisianthus forma una roseta de hojas, sobre la que se desarrolla un tallo de 40 o 50 cm de altura; en cuyo extremo aparecen las flores largamente pediceladas de 6 a 9 centímetros de diámetro y de colores entre el azul y el púrpura, en las variedades silvestres. Sin embargo, a través de sucesivos programas de mejoramiento, realizados en su mayoría por empresas japonesas, se han obtenido variedades híbridas de flores blancas, rojas, albaricoque o con mezcla de colores, y unas longitudes de 60 a más de 90 centímetros, y con flores sencillas o dobles, estas últimas con dos o tres filas de pétalos (De la Riva-Morales *et al.*, 2013).

2.4 Importancia económica de lisianthus

El lisianthus, es un cultivo ornamental relativamente nuevo para el mercado internacional, que se posicionó rápidamente entre las diez flores de corte más importantes del mundo debido a sus flores semejantes a la rosa, su excelente vida postcosecha y una amplia gama de colores disponibles, así como patrones florales. En los Estados Unidos, su popularidad continúa creciendo no solo como una flor de corte (más de 14 millones de tallos vendidos en 2002), sino también como una planta de maceta (Anderson, 2006). Por otro lado, en Holanda que es el mayor productor de flores de corte a nivel mundial, ubico al lisianthus como la décima flor más producida en 2016 (Hanks, 2018).

En el año 2008, en Japón se comercializaron 23.4 millones de tallos de esta especie (INFOCENTER-FIA, 2010). Además, es de destacarse que, en Japón en 2012, el lisianthus ocupó el tercer lugar entre las especies ornamentales por superficie sembrada (435 ha) y en ese mismo año, en Taiwán se ubicó en el sexto lugar también por superficie sembrada (130 ha), mientras que en los Países Bajos en el lugar 10 (45 ha) (Hanks, 2015).

En México, la producción de plantas ornamentales reviste una gran importancia cultural, ambiental, social y económica. Para el 2017 esta actividad generaba 188,000 empleos directos y 1, 000,000 de empleos indirectos y se integra por un alto número de pequeños y grandes productores que realizan la actividad en predios y viveros provenientes de Baja California, Colima, Chiapas, Ciudad de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla, Veracruz, Yucatán y el Estado de México (ASERCA, 2017).

La superficie cultivada de lisianthus en el país es de cerca de 4 ha. Los principales sitios productores son Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla, Guadalajara y Jalisco (Fernández-Pavía, y Trejo-Téllez, 2018).

2.5 Etapas del cultivo de lisianthus

Según Melgares de Aguilar (1996) el cultivo de lisianthus pasa por tres etapas claramente diferenciadas:

Primera etapa: se caracteriza por un lento crecimiento de la parte aérea (solo 4 a 5 pares de hojas) e importante crecimiento radical. Dura entre 20 y 30 días dependiendo de las condiciones ambientales. Segunda etapa: el tallo se alarga (30 a 50 cm) y al final de esta aparecen los botones florales; dura aproximadamente 30 días. Tercera etapa: los botones engrosan y desarrollan, se alargan los pedúnculos florales hasta alcanzar la altura definitiva, los botones viran del color verde al definitivo y se abren las flores. El total del ciclo desde la plantación hasta la floración puede durar entre 90 y 120 días dependiendo de variedades y épocas de plantación.

2.6 Exigencias y manejo del cultivo de lisianthus

2.6.1 Luz y temperatura

La floración de lisianthus no se ve influenciada por el fotoperiodo, por lo que no es necesario el uso de técnicas adicionales de iluminación para obtenerlas. Pero si podría mejorarse la calidad si se ilumina con luz artificial en épocas de baja radiación (Melgares de Aguilar, 1996). Aunque el efecto del fotoperiodo es mínimo sobre la producción de buena calidad de las flores de lisianthus, 10 horas diarias son el mínimo aceptable. También la intensidad de la luz debe considerarse, pues plantas vigorosas y con mayor cantidad de flores se producen donde existe más intensidad de la luz natural, 43,000 luxes (lumen/metro cuadrado) son los apropiados. Los rangos óptimos pueden variar entre los 40,000 y 60,000 luxes fomentando un mayor número de botones y buen desarrollo de flores (Mata *et al.*, 2013).

Con baja irradiación, los tallos son largos con mayor número de nudos, pero con menos flores, finos, débiles y más sensibles a enfermedades. Dicho de otra manera, el lisianthus es una planta facultativa de días largos, esto significa que

florece más rápido bajo condiciones de día largo, pero es necesario tomar en cuenta el cultivar (Dole y Wilkins, 2005).

Por otro lado, el crecimiento y la floración están fuertemente influenciados por la temperatura y el fotoperiodo. En el estado de plántula (más de 4-5 hojas verdaderas), las altas temperaturas inducen la formación de una roseta vegetativa, es decir, tiende a anularse naturalmente el desarrollo del tallo floral y multiplicar su masa vegetativa. Llegado este punto, se retrasan la elongación del tallo y la floración (Horticultura Internacional, 1993). Se ha estudiado la fisiología de la floración de *Lisianthus* para determinar la causa del arrosetamiento. Los resultados de estos proyectos de investigación han demostrado que el cultivar, la temperatura y la duración del día, durante la etapa de plántula, influyen en esta característica (Harbaugh, *et al.*, 1992).

El arrosetamiento es un factor que limita la producción del *Lisianthus*, éste; puede alcanzar hasta un 90 % de las plantas, impidiendo su floración en el periodo aceptable de 140 días y un retraso en la cosecha; para evitar los problemas de arrosetamiento se pueden realizar tratamientos con bajas temperaturas (vernalización) o tratamientos en base a hormonas (Pergola *et al.*, 1991).

En estados más avanzados de la elongación del tallo y la iniciación de la yema floral, las altas temperaturas y las altas intensidades de luz aceleran el desarrollo y la floración (Zaccai y Edri, 2002).

Después de la germinación, las temperaturas más altas (< 27 °C) ya no inhiben la floración, aunque se recomienda que durante las primeras cuatro semanas se eviten las temperaturas altas, ya que idealmente crecen a 20 °C día y noche y luego se reduce la temperatura nocturna a 17 °C. El crecimiento en condiciones más frescas aumenta la longitud y el diámetro del tallo, pero retrasa el desarrollo floral (Hanks, 2014).

2.6.2 Suelo.

El *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, ya que ello le otorga buen drenaje, evitando el encharcamiento que suele favorecer la aparición de enfermedades como *Rhizoctonia*, *Phytophthora* y *Fusarium*. La estructura del suelo debe ser lo más permeable posible al agua y al aire para facilitar la penetración y el crecimiento de la raíz, pero a la vez, debe tener la capacidad de retener agua que esté disponible para la planta. Para ello, es necesario realizar controles de contenido de materia orgánica y salinidad del agua de riego (Ávila y Pereyra, 2015).

En este sentido, es imprescindible eliminar las capas impermeables para facilitar el drenaje y aireación del suelo, lo que se recomienda llevar a cabo un arado profundo en el terreno donde se cultivará. La acidez y alcalinidad del suelo la determina su valor de pH; se encontró que este pH es otro factor cultural importante que podría ser un obstáculo para la producción de calidad de *lisianthus*. Se requiere un pH del suelo de 6.7 para asegurar un buen sistema de raíces. Cuando el pH del suelo es <6.2 , las toxicidades de los micronutrientes, especialmente el zinc, limitan el crecimiento y causan clorosis y necrosis indeseables de las hojas (Harbaugh, 2007).

2.6.3 Nutrición y fertilización

El *lisianthus* requiere una alta fertilización con nitrógeno y potasio para un buen crecimiento, utilizando un fertilizante 15:0:15 N: P: K, con nitrógeno suministrado como nitrato. Se ha recomendado utilizar una mayor tasa de nitrógeno y potasio antes de la formación de brotes. Cuando se cultiva al aire libre, se recomienda un fertilizante de liberación lenta de tres meses (Hanks, 2014).

El *lisianthus* al ser originario de tierras alcalinas las que son ricas en calcio, requiere de este nutriente para mantener plantas fuertes, sanas y con raíces profundas. Por esto, el empleo de nitrato de calcio es importante, sobre todo, en zonas de producción deficientes en calcio (Croft y Nelson, 1998).

Durante el primer mes, el *lisanthus* tiene los mayores requerimientos en fósforo, el cual puede ser aportado como fosfato mono amónico y otras fuentes de fósforo disponibles en el mercado (Harbaugh, 2007).

2.6.4 Solución nutritiva

El cultivo sin suelo, es la técnica que más se utiliza para producir hortalizas en invernadero. Este sistema de producción requiere un continuo abastecimiento de nutrientes, el cual se suministra por medio de una solución nutritiva (SN) que contiene los elementos esenciales para el óptimo desarrollo de los cultivos. El conocimiento de cómo preparar y manejar la SN permite aprovecharla al máximo, para así obtener un mayor rendimiento de los cultivos y una mejor calidad de los frutos. Por lo tanto, es indispensable conocer los aspectos fundamentales para preparar una SN: el pH, la concentración iónica total (presión osmótica), determinada mediante la conductividad eléctrica; la relación mutua entre aniones, la relación mutua entre cationes, la concentración de amonio, la temperatura y el oxígeno disuelto (Favela *et al.*, 2006).

2.6.4.1 Solución nutritiva de Steiner

Steiner (1984) tomando en cuenta estos aspectos, propuso una metodología para formular soluciones nutritivas verdaderas con igual presión osmótica y pH, independientemente de las modificaciones de interés que afecten a cambios en las relaciones mutuas de aniones o cationes. Este mismo autor (Steiner, 1984) indica que el uso de su solución nutritiva universal demanda únicamente que se determine la presión osmótica requerida para un cultivo en particular en una cierta época del año. Las relaciones mutuas entre los iones en la solución nutritiva universal de Steiner en porcentaje del total de $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$ es de 60:5:35 para NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} y 35:45:20 para K^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+} .

2.6.5 Riego

El *lisanthus* crece lentamente al principio y requiere relativamente poca agua; el rendimiento y la calidad se benefician de un riego uniforme, pero el cultivo es sensible a la humedad por lo que se requiere un riego ligero pero constante, no se debe permitir que el suelo se seque. El riego debe reducirse cuando los tallos

son suficientemente largos, manteniendo este régimen durante la floración. En condiciones húmedas en el exterior, se recomienda un buen drenaje y producción en camas elevadas (Hanks, 2014).

Tomando en cuenta lo anterior cuando las plantas comienzan a madurar y formar botones florales se deben realizar riegos menos frecuentes (Croft y Nelson, 1998).

Por otro lado, 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).

2.6.6 Propagación y trasplante

La propagación de *lisianthus* se realiza por semillas de variedades híbridas F1. La etapa de la germinación es crítica, ya que temperaturas superiores a 25 °C pueden inducir al arrosetamiento de las plántulas, lo cual retrasa o impide el desarrollo del tallo floral (Ávila y Pereyra, 2015).

Ávila y Pereyra (2015) también mencionan dos elementos para tomar en cuenta; el primero es que la plántula sea de excelente calidad fisiológica, sanitaria y genética, ya que una plántula de calidad (cuatro pares de hojas) tiene una reducida probabilidad de arrosetamiento y manifiesta uniformidad en el crecimiento y floración; el segundo elemento es el color y variedad que debe ser elegido siempre con base a la demanda del mercado; se puede optar por variedades de las series: ABC, Echo, Mariachi, Borealis y Escalibur.

En general el espacio debe ser de 10x15 cm y colocar la plántula de tal manera que permita una buena circulación del aire para prevenir enfermedades. El cultivo debe realizarse en invernadero y los primeros 10 días debe tener bastante humedad y sombra después del trasplante y no dejar que el suelo se seque.

De igual manera según Hanks (2014) la densidad de plantación recomendada para plantas bajo invernadero es de 64 plantas por m² en invierno, aumentando a 84 a 96 plantas por m² en verano.

2.6.7 Plagas y enfermedades

Entre las plagas que atacan al lisianthus se encuentran áfidos, mosquitas blancas, trips y minador de las hojas que pueden dañar al cultivo si no se monitorean adecuadamente (Dole y Wilkins, 2005).

El lisianthus también puede ser atacado por virus de la mancha necrótica que se propagan por trips, el virus del mosaico amarillo del frijol por el pulgón, el virus del rizo amarillo de la hoja del tomate por las moscas blancas y el virus del mosaico del tabaco. Las enfermedades fúngicas incluyen *Botrytis* (moho gris), *Fusarium*, *Myrothecium*, *Peronospora*, *Phytophthora*, *Pythium* y *Thielaviopsis*. Un drenaje deficiente combinado con un clima cálido o húmedo puede provocar problemas importantes con las pudriciones radicales y el tizón del tallo (*Sclerotinium rolfsii*) (Hanks, 2014).

2.6.8 Cosecha y cuidados postcosecha

El periodo desde la plantación hasta la cosecha está determinado por la variedad utilizada; generalmente transcurren de 90 a 120 días y de la siembra de semilla a cosecha ocurren 210 días. Se cortan las flores cuando tienen abierta 1 ó 2 flores; el corte se efectúa sobre el tallo a nivel de suelo. La selección y empaque son de gran importancia, ya que la presentación de la flor es determinante para su comercialización (ICAMEX, 2011).

Los tallos se cortan escalonadamente según vayan floreciendo; así, todos los tallos se recolectan en su punto óptimo de apertura, luego rebrota por los nudos dejados y da una nueva producción a los tres o cuatro meses, aunque será de menor calidad que la primera (Mazuela-Águila *et al.*, 2007).

Para seleccionar por color y tamaño, se colocan las flores en recipientes con agua dentro de un cuarto fresco y pasan después a la sala de empaque donde se envuelven con papel encerado y se agrupan por docena (ICAMEX, 2011).

Deben almacenarse a temperatura de 2 a 5 °C en una cámara frigorífica bien iluminada con buena circulación de aire, evitando la alta humedad. Las flores producen cantidades significativas de etileno, por lo que otras flores sensibles al etileno no deben almacenarse con ellas. Se deben usar tratamientos previos y acondicionadores de flores para aumentar la vida útil en florero. Se ha informado que muchos tipos de conservadores se han utilizado con éxito, aunque los buenos tratamientos incluyen el uso continuo de 2 a 4 % de azúcar, más un material antimicrobiano. La vida en florero de los tallos frescos dura entre 7 y 15 días, aunque se han reportado hasta 20 días de vida postcosecha con tallos de excelente calidad; los colores, especialmente el azul y el rosa, pueden desvanecerse con poca luz, aunque esto puede remediarse aumentando la intensidad de la luz (Hanks, 2014).

2.7 Reguladores del crecimiento

Una hormona vegetal o fitohormona es un compuesto producido internamente por una planta, que ejerce su función en muy bajas concentraciones y cuyo principal efecto se produce a nivel celular, cambiando los patrones de crecimiento de los vegetales y permitiendo su control. Los reguladores vegetales son compuestos sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos y son, en general, mucho más potentes que los análogos naturales. Es necesario tener en cuenta aspectos críticos como oportunidad de aplicación, dosis, sensibilidad de la variedad, condición de la planta, etc., ya que cada planta requerirá de unas condiciones específicas de crecimiento que pueden afectarse por la concentración de ellos en el medio. Los reguladores vegetales son productos sintéticos que se han convertido en las primeras herramientas capaces de controlar el crecimiento y actividad bioquímica de las plantas por lo que su uso ha aumentado en los últimos años (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

Así, una fitohormona sería un producto de origen natural, endógeno en las plantas; mientras que un fitorregulador podría ser tanto una sustancia natural como sintética, aunque ambos desempeñarían funciones similares. Algunos de estos fitorreguladores, en concentraciones altas, podrían ser letales para la planta y entonces pasarían a la categoría de herbicida (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Desde la biotecnología se han podido fabricar de manera sintética reguladores de crecimiento que pueden imitar el rol de las fitohormonas de manera natural. Existen distintos tipos de reguladores capaces de promover o inhibir el crecimiento vegetal. Algunos autores han sugerido la existencia de compuestos químicos capaces de controlar el crecimiento de manera específica, por lo que los reguladores se han podido clasificar de acuerdo a la actividad o capacidad estimulante que cada uno pueda poseer en el crecimiento vegetal, en un órgano o procedimiento único como la fotosíntesis, maduración de frutos, entre otros (Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

Hasta fechas recientes ha existido un acuerdo general en clasificar como hormonas vegetales a auxinas, giberelinas, citocininas, etileno y ácido abscísico, que constituyen los cinco grupos hormonales clásicos. En los últimos años; sin embargo, se ha ido aislando una serie de sustancias que también pueden clasificarse como hormonas basándose en sus efectos sobre el desarrollo o el fenotipo de mutantes con defectos en su síntesis o percepción. En este nuevo grupo de hormonas se incluyen brasinosteroides, oxilipinas (los representantes más conocidos son los jasmonatos), poliaminas, salicilatos, oligopéptidos y óxido nítrico (Azcón-Bieto y Talón, 2000). A menudo los procesos fisiológicos se encuentran regulados por dos o más hormonas que realizan papeles antagónicos o complementarios, de tal forma que el efecto final que muestra la planta depende del equilibrio en las concentraciones de cada participante del proceso. En general, todas las hormonas vegetales participan de una manera u otra en los distintos procesos del desarrollo, llegando incluso a ejercer una misma hormona efectos opuestos en tejidos diferentes. Por otro lado, también es preciso tener en

cuenta que unas hormonas pueden modificar los niveles de síntesis y liberación de otra hormona, aunque estos procesos varían según la especie. La auxina, por ejemplo, puede estimular en el guisante la síntesis de giberelinas y el etileno (Escaso *et al.*, 2010).

2.7.1 Citocininas

Las citocininas son un tipo de fitohormonas específicas derivadas de la adenina que tuvieron su primera aparición entre los años 1940 y 1950, tienen la capacidad de estimular e inducir una alta proliferación y división celular, entre los procesos en los que las citocininas están implicadas cabe señalar la proliferación de yemas axilares (ruptura de la dominancia apical), la neoformación de órganos *in vitro*, la senescencia foliar, el desarrollo de los cloroplastos y la floración. En la mayor parte de estos procesos, las citocininas actúan en conjunto con otros estímulos, especialmente hormonales y ambientales. Las auxinas tienen una importancia especial por su relación conjunta con las citocininas y los procesos que de esta dependen (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

Se ha considerado, casi de forma axiomática, que las citocininas son sintetizadas, mayoritariamente, en las zonas meristemáticas de las raíces. Tal hecho; sin embargo, no excluye la participación de los órganos aéreos, especialmente de los tejidos meristemáticos, en el proceso de biosíntesis de estas hormonas. Durante la fase reproductora, también aparecen otros centros de producción importante de citocininas, principalmente el endospermo (durante el desarrollo de las semillas) o el eje embrionario, que se convierte en el centro de producción y de distribución de las citocininas cuando se inicia la germinación de las semillas (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

2.7.1.1 6-Bencilaminopurina (6-BAP)

Entre las citocininas sintéticas, la cinetina y la bencilaminopurina muestran una alta actividad biológica, la 6 bencilaminopurina es un derivado de la adenina, en la cual en la posición N6 está unido al grupo de bencil. La bencilaminopurina es

más frecuentemente usada (entre otras cosas, por su bajo precio) y muestra una actividad alta en muchas especies vegetales (Jankiewicz, 2003).

Jeffcoat (1977) realizó uno de los primeros estudios en plantas ornamentales en donde se encontró que las aplicaciones con 6-BAP aumentaron las ramificaciones en el clavel, el crisantemo, la flor de Pascua, la petunia y el fucsia, que mostraron diferentes niveles de tolerancia. En ningún caso la 6-BAP redujo la altura de la planta, por otro lado, la aplicación de 6-BAP a los capullos de flores en una etapa temprana de desarrollo aumentó tanto el diámetro como el peso fresco de las flores de clavel y las inflorescencias de crisantemo cuando están completamente abiertas.

En espárrago se determinó que con la aplicación combinada de 0.110 a 0.230 μM de ácido giberélico y 0.037 a 0.075 μM de 6-bencilaminopurina se logró mayor número de yemas (13 %), brote (7 %), altura de planta (11.3 %) y peso seco (7.3 %) en las plantas tratadas en comparación con las que no fueron tratadas con esta combinación de hormonas (Paraguay *et al.*, 2010).

En un estudio publicado por Viasus-Quintero *et al.*, (2013) se observó que la producción de frutos de fresa se incrementó ante la aplicación de los reguladores del crecimiento AG₃ y 6-BAP; este aumento en la producción estuvo asociado al aumento del tamaño de los frutos.

Otro estudio mostró que la adición de 1 μM de BAP en agua de riego y 3 μM de BAP asperjada al follaje afectaron positivamente el color de los pétalos, mostrando color azul-morado más intenso, condición que le confiere mayor oportunidad de venta en la comercialización (Rojas-Morales, 2017).

2.7.2 Giberelinas.

Las giberelinas (GAs) son compuestos naturales que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y el desarrollo en los vegetales superiores (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Están presentes en plantas, tanto en gimnospermas como angiospermas, en helechos, algas (verdes y pardas), en hongos y bacterias. Las

giberelinas se encuentran en la naturaleza en distintas formas químicas como: compuestos libres (los cuales se extraen más frecuentemente utilizando alcohol y acetato de etilo), conjugados tipo glicósidos o esteres glicosídicos y en formas conjugadas con proteínas (solubles en agua y extraídas con butanol) (Jankiewicz, 2003).

La síntesis de giberelinas depende del momento del desarrollo y del medio ambiente. Su efecto más conocido es sobre la elongación del tallo de tal forma que la deficiencia produce plantas enanas, aunque también se han implicado en la germinación de las semillas, la transición a la floración, el desarrollo de las anteras, el crecimiento del tubo polínico, el desarrollo de la flor, el desarrollo del fruto o el desarrollo de la semilla. Las giberelinas se sintetizan principalmente en los meristemos apicales del tallo y las raíces, en hojas jóvenes y en el embrión (Escaso *et al.*, 2010).

Las GAs se emplean en la producción de uva sin semillas y en la de manzanas, para aumentar su tamaño y calidad, mientras que en los cítricos auto incompatibles incrementan el cuajado del fruto. En general, las GAs son capaces de estimular el cuajado de especies que contienen un número reducido de óvulos, como el durazno, o el cerezo. En los cítricos, el cambio de coloración de verde a naranja se retrasa también con las GAs, un tratamiento que, además, previene diversas alteraciones de la corteza. Las GAs se utilizan para estimular el desarrollo del tallo en la caña de azúcar y en la alcachofa, y del peciolo en el apio. El incremento y el adelanto en la producción de malta a partir de los granos de cebada también es una aplicación comercial de estos compuestos. Las GAs se usan, asimismo, para romper la latencia de tubérculos de patata o como inductores de la germinación del arroz y de variedades enanas. En la mejora vegetal de las gimnospermas, se utilizan para inducir una floración precoz, y en calabaza para incrementar la proporción de flores masculinas. Existen otras aplicaciones de las GAs, menos comunes, pero no por ello menos útiles, como, por ejemplo, su empleo para modificar la arquitectura de la planta, sobre todo en especies arbóreas. Los inhibidores de la síntesis de GAs, que en general actúan

como retardadores del desarrollo, también son empleados habitualmente en la agricultura con distintos fines. Así, el paclobutrazol y otros compuestos se utilizan comúnmente en floricultura para reducir el desarrollo de especies como los crisantemos (Azcón-Bieto y Talón, 2000).

2.7.2.1 Ácido giberélico (AG₃)

La giberelina disponible comercialmente es el ácido giberélico o AG₃ que se produce por microorganismos, siendo el hongo ascomiceto *Gibberella fujikuroi* el más empleado para su producción (Cuali-Álvarez *et al.*, 2011). Debido a que las giberelinas son ampliamente conocidas por ser promotoras del crecimiento, se han utilizado en un gran número de plantas ornamentales desde hace ya muchos años, Boschi *et al.* (1998) realizaron un experimento en *Anthurium scherzerianum* donde se hacían aplicaciones de dos dosis diferentes de ácido giberélico (1000 y 500 ppm) para el primer caso (1000 ppm), se concluyó que aumentaron significativamente el largo del pedúnculo floral y el área de la espata, pero se produjo un efecto supresor en el número de hojas; mientras que con las aplicaciones de 500 ppm aumentaron el largo del pedúnculo, produjeron la mayor área de espata y no se disminuyó el número de hojas por planta.

Por otro lado, Morales-Pérez *et al.* (2014), realizaron un estudio en *Gerbera jamesonii* cv. Dream en función de los ácidos giberélico y salicílico y se detectó que la aplicación al follaje favoreció el número de escapos florales por planta, mientras que, la aplicación al sustrato aumento el diámetro del capítulo, la longitud del escapo y el diámetro del escapo floral.

Un experimento realizado por Alia-Tejacal *et al.*, (2011) fueron asperjados cinco variedades de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotz), con dosis de 0 a 10 mg L⁻¹ de AG₃, y el estudio concluyo que las dosis de aplicación incrementó la altura de las plantas de nochebuena, sin afectar la calidad de la planta en los cultivares evaluados cuando la concentración estuvo entre 2 y 4 mg L⁻¹; pero también mencionan que es necesario realizar estudios adicionales acerca de la firmeza de los brotes, para conocer si el ácido giberélico no afecta otros parámetros de calidad.

Aunque se conocen muchos de los beneficios que el ácido giberélico brinda, también se pueden mencionar algunos efectos adversos; como se demostró en un estudio realizado por Díaz *et al.*, (2016) cuyo objetivo fue determinar la influencia de la solución de sacarosa, ácido cítrico, hidroxiquinoleína y ácido giberélico sobre la vida de florero de girasol, los resultados para el caso específico de la aplicación de ácido giberélico a 50 mg L⁻¹ arrojaron que tuvo un efecto negativo en el girasol, ya que el tratamiento donde se aplicó provocó que las flores tubulares del capítulo maduraran demasiado rápido en relación con las liguladas, además de que la base del tallo se destruyó en el florero.

Para el caso específico de lisianthus, se realizó un experimento de organogénesis a partir de sus hojas donde la adición de bajas concentraciones de citocininas y giberelinas (1.0 mg L⁻¹ de benciladenina (BA) + 0.5 mg L⁻¹ de ácido giberélico (AG₃) al medio de cultivo, generaron un mayor número de brotes (14.16 brotes por explante) (Falcón *et al.*, 2018).

En otros estudios realizados con giberelinas endógenas aisladas del mismo lisianthus, se observó que éstas no presentaron cambios significativos en los días a floración, pero sí se vio una mayor elongación del tallo, así como un mayor número de botones florales (Hisamatsu *et al.*, 1999). También según lo reportado por Cruz-Crespo *et al.* (2006), el ácido giberélico incrementó el contenido de clorofila en las hojas en 117.5 %, y mejoro la calidad de los tallos de lisianthus.

Por otro lado, se ha informado que las aspersiones de ácido giberélico (15 a 25 ppm) eran útiles para el rápido desarrollo del tallo después de que las plantas con rosetas comenzaran a brotar (Wilkins y Grueber, 1983), pero no lograron acelerar el inicio de la flor en los lisianthus con arrosetamiento (Hismatsu *et al.*, 1999). Roh *et al.* (1989) también informaron que las aspersiones de AG₃ (250 ppm) promovían el alargamiento del tallo de las flores cortadas.

Se sabe de igual forma que las aplicaciones de AG₃ en ornamentales pueden estimular la formación de la hendidura del cáliz en clavel; adelantar la floración, alargar los tallos, evitar el enracimado de variedades con esta tendencia y

aumentar el diámetro de los vástagos florales en crisantemo; aumentar el número de flores y adelantar la floración en begonia, dalia, geranio, anémona, hortensia, salvia y violeta (De Liñán, 2020).

2.8 LITERATURA CITADA

- Alcántara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara, J. D., Sánchez, R. M. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA, 17(32): 109-129. DOI: <https://doi.org/10.25058/24629448.3639>
- Alia-Tejacal, I.; Valdez-Aguilar, L.A.; Campos-Bravo, E.; Sainz-Aispuro, M de J.; Pérez-Arias, G.A.; Colinas-León, M.T.; Andrade-Rodríguez, M.; López-Martínez, V. y Alvear-García, A. 2011. Efecto de la aspersión de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2(3): 577–589.
- Anderson, N. O. 2006. Flower Breeding and Genetics: Issues, Challenges and Opportunities for the 21st Century (1ª Ed.). USA: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1>
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). 2017. La 8ª Expo Nacional Viverismo Impulso para industria ornamental mexicana. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/aserca/es/prensa/la-8-expo-nacional-viverismo-impulso-para-industria-ornamental-mexicana?idiom=fr> Consultado 19 de junio de 2019.
- Ávila, A de L. y Pereyra, M., 2015. Cultivo de Lisianthus. (1ª Ed.). Córdoba, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias/Universidad Nacional de Cordoba (UNC).
- Azcón-Bieto J, y Talón, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. (2ª ed.). Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf> Consultado 3 de Octubre de 2020.
- Boschi, C., Benedicto, D., Molinari, J. y Di Benedetto, A. 1998. La aplicación de ácido giberélico en *Anthurium scherzeranum* respuestas sobre el follaje y la inflorescencia. Rev. Facultad de Agronomía, 18(2): 89-92.
- Croft, B. & Nelson, J. 1998. Eustoma (lisianthus). In: Ball, V. (Ed), The Ball Red Book (pp. 509-512). Batavia, United States: Bali Publishing.
- Cruz-Crespo, Elia, Arévalo-Galarza, Lourdes, Cano-Medrano, Raquel, y Gaytán-Acuña, E. A. 2006. Soluciones pulso en la calidad postcosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. 'echo blue'. Agricultura Técnica en México, 32(2), 191-200.

- Cuali-Álvarez, I.; Pavón-Romero, S.H.; y Colín-Cruz, A., 2011. Producción de ácido giberélico a partir de *Gibberella fujikuroi* utilizando lodo residual municipal como sustrato. *Universitas Scientiarum*, 16 (1): 51-62. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=499/49917579004> consultado el 11 de octubre de 2020.
- De La Riva-Morales, F.P., Mazuela-Águila, P.C., y Urrestarazu-Gavilán, M. 2013. Comportamiento productivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) en cultivo sin suelo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2): 141-149.
- De Liñán, C. (2020). *Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales 2020* (31ª ed.). España: Ediciones Agrotécnicas.
- Díaz, E., Loeza, J.M., y Brena, H. I., 2016. Comportamiento postcosecha en girasol (*Helianthus annuus* L.) en función de soluciones de pulso. *Investigación y Ciencia*, 24(69): 26-31.
- Dole, M. J. and Wilkins, F. H. 2005. *Floriculture principles and species*. (2ª ed.). New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.
- Escaso, F. S., Martínez, J. L., Planello, M. R., 2010. *Fundamentos Básicos de Fisiología Vegetal*. (2ª ed.). Madrid, España: Pearson. <https://biologiainsebas.files.wordpress.com/2013/08/fundamentos-basicos-fisiologia-vegetal.pdf> consultado 12 de junio de 2019.
- Falcón, M., Rodríguez, J. M. & Barba, R., 2018. Leaf-derived organogenesis from lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) in response to different plant growth regulators. *Mexican Journal of Biotechnology*, 3(2):37–46. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.2.37> Consultado 19 de julio de 2019.
- Favela, E., Preciado, P. y Benavides, A., 2006. *Manual para la preparación de soluciones nutritivas* (1ª Ed.). Torreón, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Fernández-Pavía, Y. L. y Trejo-Téllez, L. I. 2018. Biología, importancia económica y principales líneas de investigación en lisianthus: una especie ornamental nativa de México. *Agroproductividad*, 11(8): 171–182.
- Gabriel, P., Buyatti M., Mata, D., 2012. Evaluación del comportamiento de variedades de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) plantadas en distintas fechas. *Horticultura Argentina*, 31(76):278.
- Hanks G. 2015. A review of production statistics for the cut-flower and foliage sector 2015 (part of AHDB Horticulture funded Project PO BOF 002a). UK.:The National Cut Flower Center.

- Hanks, G., 2014. Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) as a cut flower crop grown in polythene tunnels. U.K.: National Cut Flower Center/ Horticultural Development Company <https://thecutflowercentre.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/CFC-HDC-Lisianthus-trials.pdf> Consultado 15 de Febrero del 2019.
- Hanks, G., 2018. A review of production statistics for the cut flower and foliage. U.K.: National Cut Flower Center/ Horticultural Development Company. <https://horticulture.ahdb.org.uk/sites/default/files/CFC%20Cut%20Flower%20production%20statistics%202018.pdf> Consultado 25 de Febrero del 2019.
- Harbaugh B.K. 2007. Chapter 24. Lisianthus. In: Anderson N. O. (ed.). Flower Breeding and Genetics. (pp. 645-663). Berlin, Germany: Springer.
- Harbaugh, B.K., Roh, M.S., Lawson, R.H. & Pemberton, B. 1992. Rosetting of lisianthus cultivars exposed to high temperature, HortScience, 27(8):885-887.
- Hisamatsu, T., Koshioka, M., Oyama, N., & Mander, L. N. (1999). The Relationship Between Endogenous Gibberellins and Rosetting in *Eustoma grandiflorum*. Engei Gakkai zasshi, 68(3), 527-533. DOI: <https://doi.org/10.2503/jjshs.68.527>
- Horticultura Internacional., 1993. Lisianthus: tendencia a "roseta". Revista de Industria, Distribución y Socio economía Hortícola, 1(1): 72-73. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_hortint/hortint199317272.pdf consultado 06 de octubre de 2020.
- ICAMEX (Instituto de investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México). 2011. Cultivo de Lisianthus. Departamento de Investigación Florícola. Gobierno del estado de México. <http://icamex.edomex.gob.mx/lisianthus> Consultado 16 de febrero del 2019.
- INAES (Instituto Nacional de Economía Social). 2018. Historia de la Floricultura: Conoce la historia de la Floricultura en el mundo y en México. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inaes/articulos/historia-de-la-floricultura?idiom=es> Consultado 17 de febrero de 2019.
- INFOCENTER-FIA. 2010. Análisis mundial de estrategia e innovación relacionada con las tecnologías aplicadas a la producción de flor y follaje de corte como oportunidad de alto valor añadido e identificación de oportunidades de mercado para las especies de la oferta chilena y las especies que presenten ventajas comparativas para Chile. Centro de Inteligencia Competitiva, Económica y Tecnológica. Gobierno de Chile. Santiago de Chile, Chile: Fundación para la Innovación Agraria.

- Jankiewicz, S.L., 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas: Propiedades y acción. (1ª ed.). México: Ediciones Mundi Prensa.
- Jeffcoat, B., 1977. Influence of the Cytokinin, 6-Benzylamino-9-(Tetrahydropyran-2-yl)-9H-Purine, on the Growth and Development of Some Ornamental Crops. *Journal of Horticultural Science*, 52(1): 143–153. DOI: <https://doi.org/10.1080/00221589.1977.11514740>
- Mata, D.A., Wicky M.A., Morisigue, D., 2013. Efecto de la intensidad de luz en el cultivo de lisianthus (*Eustoma grnadiflorum*). *Horticultura Argentina*, 32(79):435.
- Mazuela-Águila, P.C., De La Riva-Morales, F.P. & Urrestarazu-Gavilán, M. 2007. Cultivo de lisianthus en perlita. *Plantflor*, 124(1).92-94.
- Melgares de Aguilar C.J. 1996. El cultivo de lisianthus (II parte). *Horticultura*, 114(1): 47-50
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1996_114_47_50.pdf Consultado 04 Septiembre de 2020.
- Morales-Pérez, E., Morales-Rosales, E.J., Franco-Mora, O., Pérez-López D de J., González-Huerta, A. y Urbina, E. 2014. Producción de flores de *Gerbera jamesonii* cv. Dream en función de los ácidos giberélico y salicílico. *Revista Internacional de Botánica experimental PHYTON*, 83 (2): 333-340.
- Morisigue, D.; Mata, D.; Facciuto, G. y Bulldrich, L. 2012. Floricultura: pasado y presente de la Floricultura Argentina (1ª ed.). Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Paraguay, J., Bardales, C., León, C., Nomberto, C., y Linares, G., 2010. Incremento del área foliar de *Asparagus Officinalis* L. cv. UC 157 F1 “espárrago” mediante la aspersión de Giberelina (AG3) y 6-Bencilaminopurina (6–BAP). *Scientia Agropecuaria*, 1(3-4):91-196.
- Pergola, G., Oggiano, N. & Curir, P., 1991. Effects of seeds and seedlings temperature conditioning on planting, bolting and flowering in *Eustoma russellianum*. II International Symposium on Propagation of Ornamental Plants. *Acta Horticulturae*, 314: 173-178.
- Ramírez J.; y Avitia-Rodríguez, J. A., 2017. Floricultura mexicana en el siglo XXI: su desempeño en los mercados internacionales. *Revista de Economía*, 34(88), 99-122.
- Reed, D.W. 1999. Agua, Sustratos y Nutrición En Los Cultivos De Flores Bajo Invernadero. (1ª Ed.). Illinois, USA: Ball Publishing.

- Rojas-Morales, A.B., Morales-Rosales, E.J., Morales-Morales, E.J., Estrada-Campuzano, G., Franco-Mora, O. y López-Sandoval, J. A. 2017. Índice de verdor de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinnery) en función de la concentración de 6-bencilaminopurina. Revista Fitotecnia Mexicana, 40(4), 461–469. <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/40-4/10a.pdf> Consultado 18 de Julio de 2019.
- SAF Society of American Florists, 2015. Informe: Evolución del mercado de flores en Estados Unidos. <https://es.slideshare.net/florecuador/informe-evolucion-del-mercado-de-flores-en-estados-unidos-julio-2015> Consultado en Junio de 2019.
- Steiner, A. A., 1984. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands.
- Tejeda-Sartorius, O., Ríos-Barreto, Y., Trejo-Téllez, L. I., y Vaquera-Huerta, H. 2015. Caracterización de la producción y comercialización de flor de corte en Texcoco, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(5):1105-1118. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500016&lng=es&tlng=es. Consultado el 20 de Julio 2020.
- Viasus-Quintero, G.; Alvarez-Herrera, J.; & Alvarado-Sanabria, O. 2013. Efecto de la aplicación de giberelinas y 6-bencilaminopurina en la producción y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Bioagro, 25:195-200.
- Wilkins, H. F. & Grueber, K. L., 1983. Lisianthus *Eustoma grandiflorum*. Minnesota State Florists Bulletin, 32(6):10-11.
- Zaccari, M., & Edri, N. 2002. Floral transition in lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Scientia Horticulturae, 95(4): 333-340.

CAPITULO 3

APLICACIÓN FOLIAR DE ÁCIDO GIBERÉLICO (AG₃) Y BENCILAMINOPURINA (6-BAP) EN EL CRECIMIENTO Y VIDA POSCOSECHA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* (RAF.) SHINN.) CV. MARIACHI BLUE PARA FLOR DE CORTE

RESUMEN

Entre las flores de corte el lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) es una especie poco cultivada en relación con otras plantas ornamentales como la rosa; sin embargo, durante la última década ha aumentado su consumo a nivel internacional, debido a su excelente vida en florero y su variedad de colores, no obstante, la información disponible en cuanto a su nutrición y el uso de reguladores es aún escasa. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de ácido giberélico (AG₃) solo y en combinación con 6-bencilaminopurina (6-BAP) en el crecimiento, y vida poscosecha de lisianthus cv. Mariachi Blue. Para lo cual se manejaron 10 tratamientos de AG₃+6-BAP en mg L⁻¹ (25+0, 50+0, 100+0, 25+10, 50+10, 100+10, 25+20, 50+20, 100+20 y testigo, sin aplicación) que fueron aplicados foliarmente cada 3 semanas hasta la aparición de los primeros botones florales (7 aplicaciones). El diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento. Las plantas fueron cultivadas en tezontle rojo (2-3 mm de diámetro) con solución nutritiva de Steiner al 100 % en invernadero. No existió interacción entre ambos reguladores. Los tratamientos que promovieron un mejor crecimiento fueron 50+0 y 100+0 ya que el AG₃ aumentó al menos 15 cm la altura de la planta, 17 % el diámetro del tallo, 59.17 % el peso fresco de la parte aérea y hasta un 133 % el número de botones florales con respecto al testigo. Por otro lado, todos los tratamientos con 6-BAP aumentaron el número de brotes laterales al menos 7 veces con respecto a los que no tenían 6-BAP incluyendo al testigo. Sin embargo, ninguno de los tratamientos tuvo un efecto significativo en la vida poscosecha.

Palabras clave: *Eustoma grandiflorum*, AG₃, 6-BAP, solución nutritiva, vida poscosecha.

FOLIAR APPLICATION OF GIBBERELIC ACID (AG₃) AND BENZYLAMINOPURINE (6-BAP) IN THE GROWTH AND POST-HARVEST LIFE OF LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* (RAF.) SHINN.) CV MARIACHI BLUE FOR CUTTING FLOWER

ABSTRACT

The lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) is a little cultivated species among the cutting flowers in relation to other ornamental plants such as the rose; however, during the last decade its consumption has increased at international level due to its excellent vase life and its variety of colors, but the available information regarding its nutrition and the use of regulators is still scarce. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of foliar application of gibberellic acid (AG₃) alone and in combination with 6-benzylaminopurine (6-BAP) on growth, and postharvest life of lisianthus cv. Mariachi Blue. Ten treatments of AG₃+6-BAP in mg L⁻¹ (25+0, 50+0, 100+0, 25+10, 50+10, 100+10, 25+20, 50+20, 100+20 and one control, without application) were handled for this purpose; the treatments were foliarly applied every 3 weeks until the emergence of the first flower buds (7 applications). The experimental design was completely randomized, with five replicates per treatment. The plants were grown in red tezontle (2-3 mm diameter) with 100% Steiner nutrient solution in a greenhouse. There was no interaction between the two regulators. The treatments that promoted a better growth were 50+0 and 100+0 since AG₃ increased at least 15 cm the height of the plant, 17% the diameter of the stem, 59.17% the fresh weight of the aerial part and up to 133% the number of flower buds regarding the control. On the other hand, all treatments with 6-BAP increased the number of side shoots at least 7 times compared to those without 6-BAP including the control. However, none of the treatments had a significant effect on post-harvest life.

Keywords: *Eustoma grandiflorum*, AG₃, 6-BAP, nutrient solution, post-harvest life.

Thesis, Master of Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Octavio Alberto Reyes Espinosa
Advisor: Dra. Ana María Castillo González

3.1 INTRODUCCIÓN

Entre las flores de corte el lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) es una especie poco cultivada en relación con otras plantas ornamentales como la rosa; sin embargo, durante la última década ha aumentado su producción, así como su consumo a nivel internacional, debido a su gran diversidad de colores, su estructura estética y su larga vida en florero; en México a pesar de este crecimiento, aún no se ha explorado todo el potencial productivo y económico que posee; por esta razón la información existente acerca de este cultivo es insuficiente (De la Riva-Morales *et al*, 2013).

El uso de reguladores de crecimiento es una práctica muy común en la producción de plantas ornamentales en maceta para obtener características deseadas, obtener plantas más compactas, romper la dominancia apical y favorecer la producción de brotes laterales, para la producción de un mayor número de flores. Muchos productores utilizan reguladores de crecimiento para mejorar la calidad estética y reducir los costos, conservarlas pequeñas e incrementar la cantidad que se envía por transporte terrestre o aéreo.; esto los convierte en un tópico importante de conocimiento y experimentación sobre todo en especies como el lisianthus, en la que no hay información o ésta es muy escasa. Las plantas ornamentales por su carácter no comestible, permiten una oportunidad de experimentación más amplia que en otros cultivos para poder alcanzar los parámetros de calidad óptimos para su comercialización.

Aunque se han realizado experimentos con giberelinas en lisianthus y se sabe que estas pueden sacar a la planta del arrosetamiento (Harbaguh *et al*, 1992), el papel de éstas en el cultivo continúa siendo explorado bajo diversas condiciones. Por otro lado, es conocido que las citocininas promueven la división y diferenciación celular (Weiss y Ori, 2007).

sin embargo, no hay muchos antecedentes con respecto a su efecto particular en esta especie ornamental, por lo que la información sobre ambos reguladores del crecimiento y su acción en *lisianthus* es aún limitada. Por esta razón los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la aplicación foliar de ácido giberélico (AG₃) solo y en combinación con bencilaminopurina (6-BAP) en el crecimiento, y vida postcosecha del tallo floral en *lisianthus* cv. Mariachi Blue para flor de corte y determinar si existe un tratamiento adecuado, desde el punto de vista fisiológico y económico, para obtener el mejor crecimiento y calidad de la flor en *lisianthus*.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Localización

El experimento fue realizado en un invernadero de cristal del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en las coordenadas 19°29' latitud norte y 38°53' longitud oeste, a una altitud de 2,240 m. El clima de la zona es C (Wo)(w)b(i')g, según la clasificación de Köppen modificada por García (1973). Es el más seco de los templados, con lluvias en verano y con una temperatura media anual de 17.5 °C. Con la temperatura media del mes más frío de 11.6 °C y del mes más cálido de 18.4 °C. La precipitación media anual es de 680 mm, con la máxima en el mes de junio y la mínima en enero.

3.2.2 Condiciones ambientales

Debido a la importancia que tiene la temperatura en este cultivo, a lo largo del experimento se monitoreó esta variable dentro del invernadero, para esto se utilizó un termo higrómetro digital de la marca CONTROL COMPANY® modelo cc4154 para registrar diariamente la temperatura y humedad relativa (HR) con una precisión de ± 0.1 °C y ± 1 % de HR. En el Cuadro 1 se presentan los valores máximos y mínimos de temperaturas y HR mensuales que fueron registrados.

Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones.

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	HR máxima (%)	HR mínima (%)
Noviembre	37.2	9.2	98.3	25.4
Diciembre	34.3	4.4	88.6	24.5
Enero	31.3	4.9	81.4	23.5
Febrero	35.6	7.5	77.9	19.2
Marzo	39.5	8.2	78.2	17.2
Marzo*	35.6	14.5	61.5	18.0
Abril	33.4	15.0	70.4	19.1
Mayo	34.6	14.3	69.9	19.0
Junio	35.7	14.4	80.3	19.7

*Los datos se tomaron en el cambio de ubicación del experimento a partir del 29 hasta el 31 de marzo

3.2.3 Sustrato

Se utilizó tezontle rojo cribado para obtener partículas de 2 a 3 mm de diámetro. Se utilizaron bolsas de polietileno negras de 6 L de capacidad.

3.2.4 Riegos

Antes de realizar el trasplante las bolsas con sustrato se sometieron a un riego pesado para minimizar el estrés de las plántulas. Una vez establecidas las plántulas (dos por bolsa), se aplicó solución nutritiva diariamente a cada una de las bolsas. Al inicio del ciclo se aplicaron 150 ml por bolsa, debido a que aún se encontraba en estado de plántula; sin embargo, el volumen se fue modificando conforme la planta iba creciendo hasta llegar a 350 ml por bolsa cada tercer día. Las bolsas se colocaron sobre un soporte elevado que permitía el flujo libre del drenaje (30 % aproximadamente).

Se utilizó la solución nutritiva planteada por Steiner (1984) al 100 % para todos los tratamientos. La composición de ésta se indica en el Cuadro 2. Por otro lado, los micronutrientes fueron administrados a partir de la mezcla comercial Tradecorp ® AZ de fertilizantes quelados con EDTA. Este producto está compuesto por hierro 7.5 %, manganeso 3.5 %, zinc 0.70 %, boro 0.65 %, cobre 0.28 % y molibdeno 0.26 %.

Cuadro 2. Composición de la solución nutritiva utilizada en lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue.

Fertilizante	Fórmula	g/100 L
Fosfato de potasio	KH_2PO_4	13.61
Sulfato de potasio	K_2SO_4	14.64
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	8 (ml)
Nitrato de potasio	KNO_3	30.33
Nitrato de calcio tetrahidratado	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	56.01
Sulfato de magnesio heptahidratado	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	34.07
Micronutrientes	Mezcla comercial de micros Tradecorp ® AZ	2.95

3.2.5 Material vegetal

Se utilizaron plántulas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn). cv. Mariachi Blue, obtenidas a partir de semilla. El trasplante se hizo el 26 de noviembre de 2019, cuando las plántulas tenían 2 a 3 pares de hojas y una altura de 2 a 5 cm. Dicha actividad se realizó muy temprano para evitar daños por deshidratación debido a altas temperaturas.

3.2.6 Tratamientos

Los tratamientos consistieron en aplicaciones foliares de 9 combinaciones de ácido giberélico (AG₃) y 6-bencilaminopurina (6-BAP) en diferentes concentraciones más un testigo al cual no se le aplicaron reguladores, sumando un total de 10 tratamientos como se muestra a continuación.

Cuadro 3. Tratamientos foliares con ácido giberélico (AG₃) y 6-bencilaminopurina (6-BAP), aplicados a lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue.

Tratamientos	AG ₃ (mg L ⁻¹ i.a.)	6-BAP (mg L ⁻¹ i.a.)
1	25	0
2	50	0
3	100	0
4	25	10
5	50	10
6	100	10
7	25	20
8	50	20
9	100	20
10	0	0

Para la preparación de los tratamientos, el ácido giberélico se disolvió directamente en agua; mientras que para el caso de la bencilaminopurina se utilizaron 2 ml de etanol para su disolución y posteriormente a cada combinación se le agregó agua hasta aforar a 1 L. Además, se agregaron 0.5 ml del surfactante DAP-PLUS® en cada solución para romper la tensión superficial y aumentar la velocidad de penetración en las hojas.

Es importante señalar que ambos reguladores AG₃ y 6-BAP se utilizaron en grado reactivo de la marca Sigma®, con una pureza de 90 % y 100 %, respectivamente. El pH de las soluciones preparadas osciló entre 6.0 y 6.15 como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. pH promedio de los tratamientos con reguladores del crecimiento aplicados vía foliar a lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue.

Tratamientos	AG ₃ + 6-BAP	pH
1	25+0	6.11
2	50+0	6.03
3	100+0	6.02
4	25+10	6.08
5	50+10	6.10
6	100+10	6.08
7	25+20	6.10
8	50+20	6.12
9	100+20	6.10
10	0+0	No aplica

Las aplicaciones se hicieron cada tres semanas iniciando un día después del trasplante (27 de noviembre) y concluyendo el primero de abril con la aparición de los primeros botones florales, obteniendo un total de siete aplicaciones; estas se realizaron durante la mañana, utilizando un aspersor para cubrir la superficie aérea de la planta hasta punto de goteo, principalmente el envés de las hojas para asegurar la absorción.

3.2.7 Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con 10 tratamientos, donde la unidad experimental estuvo constituida por una bolsa con dos plantas, con cinco repeticiones por tratamiento, dando un total de 50 unidades experimentales.

3.2.8 Manejo de plagas y enfermedades

Inmediatamente después del trasplante se realizó un riego inicial con Captan 1g L⁻¹ para evitar la pudrición de la raíz, posteriormente se realizaron aplicaciones

preventivas cada 15 días de manera foliar con Tecto 60 con una concentración de 1 g L⁻¹ y de Imidacloprid 0.5 ml L⁻¹ para evitar problemas por hongos y áfidos.

3.2.9 Variables evaluadas

Para las variables que se enlistan enseguida las mediciones se hicieron en las dos plantas por maceta y en las 5 repeticiones por tratamiento. La cosecha se realizó en todos los casos a las 6 de la mañana y las mediciones se realizaron antes de las 11 de la mañana para evitar daños por deshidratación.

3.2.9.1 Altura de la planta

Esta medición se realizó al momento de la cosecha tomando en cuenta desde la base del tallo hasta el ápice utilizando una cinta métrica.

3.2.9.2 Peso fresco de la parte aérea

Para la determinación del peso fresco de la parte aérea se realizó un corte en la base de la planta, conservándose solamente la parte aérea de la planta. Se pesaron las plantas por cada unidad experimental utilizando una balanza digital de la marca OBI ® con una precisión de ± 1 g, modelo 207134.

3.2.9.3 Diámetro del tallo

La medición del diámetro del tallo se realizó en todos los casos entre el 5° y 6° par de hojas. Se llevó a cabo con un vernier digital de la marca OBI ® modelo 215140.

3.2.9.4 Peso fresco de la raíz

Para la determinación del peso fresco de la raíz se separó la raíz del resto de la planta. Se pesaron las raíces de las dos plantas de cada unidad experimental utilizando una balanza digital de la marca OBI ® con una precisión de ± 1 g, modelo 207134.

3.2.9.5 Longitud de la raíz

Se midió en las mismas raíces utilizadas para la determinación del peso fresco, con una cinta métrica desde el corte que se realizó en la base del tallo hasta el final de la raíz más larga.

3.2.9.6 Volumen de raíz

En las mismas raíces de las variables anteriores, se midió el volumen por desplazamiento de agua en una probeta graduada de 100 ml.

3.2.9.7 Diámetro de la flor

Se realizó con la ayuda de un vernier de plástico marca KARLEN ® con una escala de 0.05 mm, tomando como referencia la parte más ancha de la flor.

3.2.9.8 Altura de la flor

Esta variable se registró al momento de la cosecha, se midió desde la base del receptáculo hasta el ápice de la corola con la ayuda de un vernier de plástico marca KARLEN ® con una escala de 0.05 mm.

3.2.9.9 Diámetro del botón floral

Se realizó con botones cuyo diámetro eran mayor a 1 cm de cada una de las dos plantas por unidad experimental, la medición se llevó a cabo con un vernier digital de la marca OBI ® modelo 215140.

3.2.9.10 Número de pares de hojas

Se contó el número de pares de hojas de las plantas de cada una de las dos plantas por unidad experimental.

3.2.9.11 Número de botones florales

Se contó el número total de botones florales mayores a 1 cm de diámetro por cada unidad experimental.

3.2.9.12 Número de botones pequeños

Se contó el número total de botones menores a 5 mm de diámetro por cada unidad experimental.

3.2.9.13 Número de brotes laterales

Se contó el número total de brotes laterales por cada unidad experimental.

3.2.9.14 Longitud de brotes laterales

Se midió al momento de cosechar las plantas, se realizó por cada brote lateral de las dos plantas de cada unidad experimental, con la ayuda de una cinta métrica.

3.2.9.15 Peso seco

Después de tomar los datos de pesos secos de parte aérea y raíz se procedió a limpiar y retirar los excedentes ajenos a la biomasa de la planta, debido a la contingencia sanitaria de COVID 19 y a la huelga realizada durante el periodo de cosecha, el secado de las plantas se realizó en una prensa botánica con papel de estraza, poniéndolo al sol alrededor de 10 días, cambiando la posición de las muestras, así como el papel para evitar la formación de hongos. Finalmente, la materia seca de parte aérea y raíz se pesó usando una balanza digital marca YL traV ® de 500 gramos y precisión de pesado de 0.1 g. Posteriormente, se realizó la suma de estos valores para sacar el peso seco total.

3.2.9.16 Vida poscosecha

Se seleccionaron 4 plantas por tratamiento para medir la vida en poscosecha; esto se realizó poniendo una flor en una probeta de 500 ml con agua de la llave, se cambió el agua cada 4 días, y se contaron los días que transcurrieron hasta que la última flor abierta se marchito.

3.2.9.17 Análisis de resultados

Con los datos obtenidos se realizó análisis de varianza y comparación de medias por medio de la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), así como la correlación de Pearson para variables continuas; también se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis y sus comparaciones múltiples correspondientes ($P \leq 0.05$) al igual que correlación de Spearman para variables discretas; por último, se realizó un análisis de correlación canónica para grupos de variables. Esto se realizó con los paquetes estadísticos Statistical Analysis System (SAS) versión 9 (SAS Institute, 2006) y Minitab® versión 18. Las gráficas se realizaron en el programa Microsoft Excel 2010.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Altura de la planta

En la Figura 1 se observa que la aplicación foliar de AG₃ sin adicionar 6-BAP promovió la altura de la planta con una diferencia de por lo menos 15 cm, en comparación con las plantas del testigo. La adición de 6-BAP en contraste, mostró un menor efecto con respecto al testigo, lo cual sugiere que la 6-BAP no elonga el tallo a menos que estén en combinación con dosis altas de AG₃. Las diferencias entre los tratamientos fueron altamente significativas ($p < 0.0001$) para esta variable.

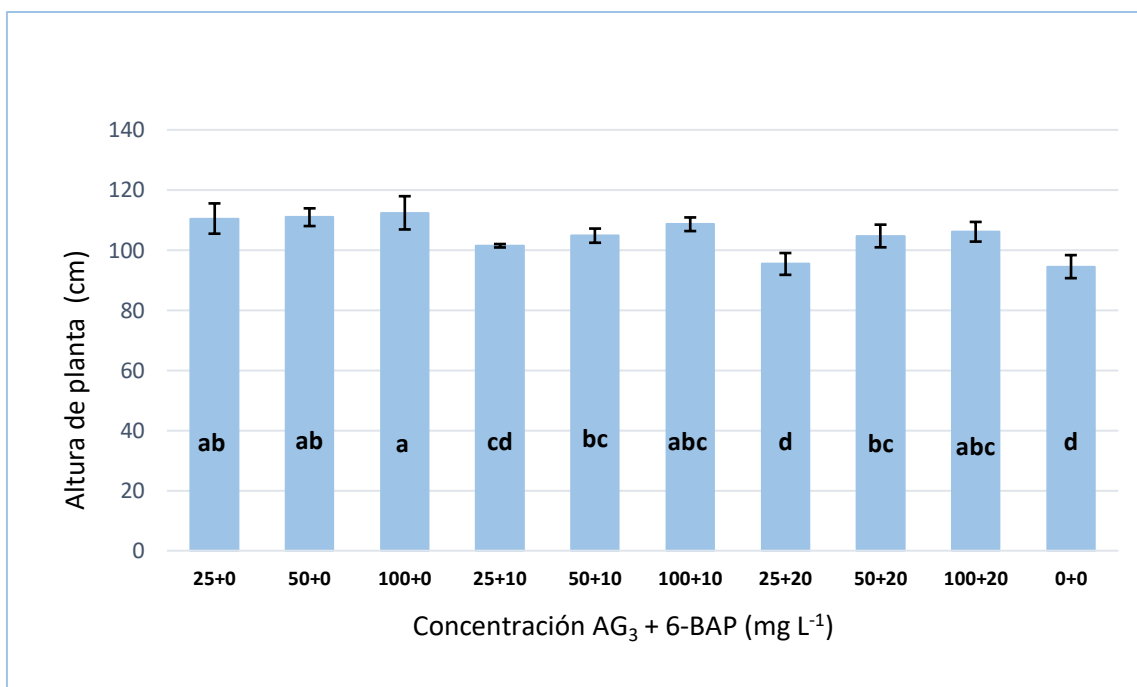


Figura 1. Altura de planta de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃ + 6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Las GAs controlan aspectos importantes en el desarrollo de las plantas, actuando como estimulantes del crecimiento; una de sus funciones más importantes es la promoción del desarrollo del tallo, hojas y raíces, esto se debe a la inducción de

la división celular, pues acortan la interface del ciclo celular al inducir a las células a sintetizar ácido desoxirribonucleico (Ortega-Martínez *et al.*, 2013).

Las GAs también estimulan la expansión celular, alterando las propiedades hidráulicas de la pared celular (como viscosidad aparente y fluidez), como consecuencia, se reduce el potencial hídrico de la célula, lo que permite la absorción de agua y por lo tanto un aumento del volumen de la misma. Se desconoce el mecanismo preciso del cambio en las propiedades de la pared celular provocado por las GAs; sin embargo, se sabe que el mecanismo no se basa en la secreción de protones como en el caso del crecimiento estimulado por auxinas (Jones and Kaufman, 1983).

En un experimento similar llevado a cabo en *lisianthus* por Castillo-González *et al.* (2019) se determinó que la aplicación foliar de 6 mg L⁻¹ de AG₃+6 mg L⁻¹ de 6-BAP disminuyó la altura de la planta en un 21.5 % con respecto al testigo; por otro lado este mismo estudio señala que la aplicación de 10 mg L⁻¹ de AG₃ sin adicionar 6-BAP no mostró diferencias estadísticas con el testigo respecto a la altura de la planta. Estos resultados pueden haber diferido con los presentados en este trabajo debido a que la dosis de AG₃ fueron superiores que las presentadas en el estudio antes mencionado y en ninguno de los tratamientos de AG₃+6-BAP las concentraciones eran iguales para ambos reguladores como si lo fueron en lo descrito por Castillo-González *et al.* (2019).

Por su parte Gabrel *et al.* (2018) señalan que la aplicación de 100 ppm de 6-BAP combinada con 200 ppm de AG₃ aumentó la altura de la planta de crisantemo en un 51.6 %, lo que resultó superior a la aplicación de 200 ppm de AG₃ sin adicionar 6-BAP, que solo aumento la altura de la planta en un 41.5 %.

Por otro lado, los resultados obtenidos coinciden parcialmente con lo reportado por Alia-Tejacal *et al.* (2011) en un experimento realizado para evaluar el efecto de la aspersión de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena, quienes determinaron que la aspersión de 10 mg L⁻¹ AG₃, sin

adicionar otro regulador, estimuló el alargamiento del tallo y la longitud de brotes laterales en un 20 % y 19.2 %, respectivamente, en comparación con el testigo.

De manera similar Sarkar *et al.* (2014) señalan que la aplicación de 150 mg L⁻¹ de AG₃ en cormos de gladiolo, aumentó la altura del tallo 14.8 cm en relación al testigo.

Por último, es importante destacar que 1 g de AG₃ tiene un costo de \$601.00 MXN mientras que 1 gr de 6-BAP cuesta \$1,128.00 MXN ambos de la marca Sigma Aldrich ®. Tomando en cuenta que los tratamientos 25+0, 50+0 y 100+0 fueron estadísticamente iguales y superiores al testigo (16.4 %) el tratamiento más adecuado, desde el punto de vista económico, fue el primero, ya que con menor concentración de AG₃ se generan los mismos resultados que con las dosis altas.

3.3.2 Diámetro del tallo

En la Figura 2 se puede notar que las aplicaciones de AG₃ sin 6-BAP (25+0, 50+0 y 100+0) aumentaron el diámetro del tallo en 17 % aproximadamente; sin embargo, la adición de 6-BAP no mostró diferencias estadísticas con el testigo. Las diferencias entre los tratamientos fueron altamente significativas ($p < 0.0001$) para esta variable.

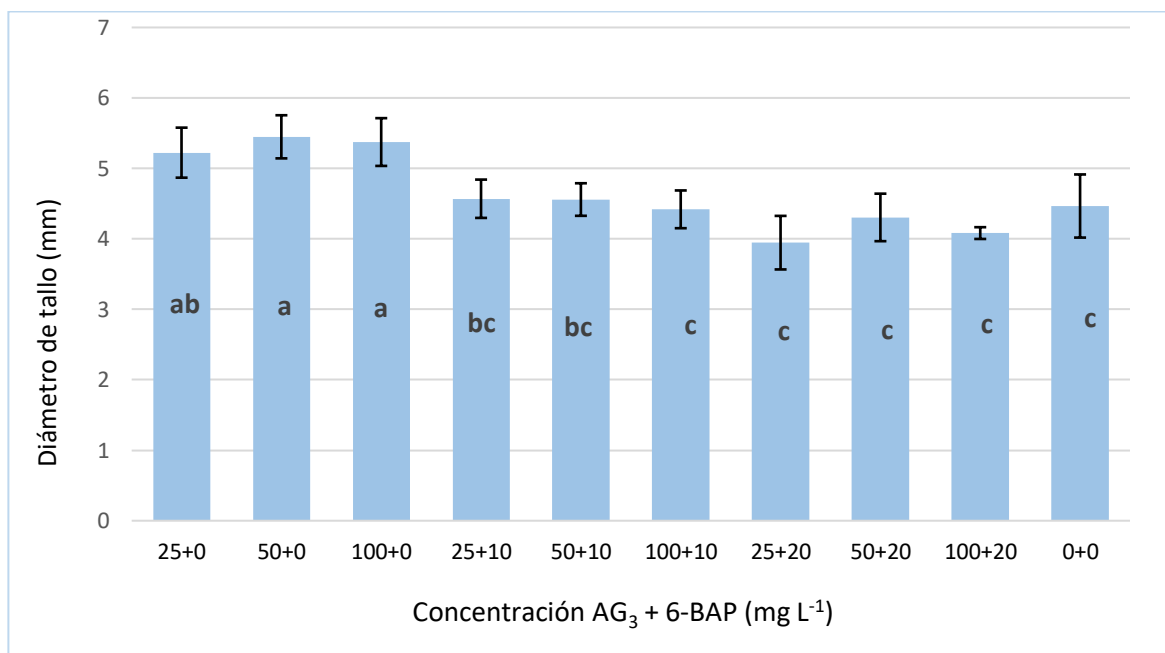


Figura 2. Diámetro del tallo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Se ha demostrado que el efecto del ácido giberélico promueve principalmente la división y expansión celular en el crecimiento vegetativo (Taiz y Zeiger, 2006).

En este sentido un experimento realizado por Vieira *et al.* (2011) cuyo objetivo fue evaluar la altura y diámetro de los tallos del cultivar de crisantemo Yoko ono mediante la aplicación de ácido giberélico, concluyeron que el AG₃ aumentó el diámetro del tallo en 10 %, aproximadamente, con una dosis alta de 120 mg L⁻¹ pero no se vio afectado en concentraciones de 40 y 80 mg L⁻¹ de AG₃.

Según lo reportado por Castillo-González *et al.* (2018) la aplicación foliar de 6 mg L⁻¹ de AG₃+6 mg L⁻¹ de 6-BAP aumentó el diámetro basal y medio del tallo de *lisianthus* en un 24 % y 29 % respectivamente.

Por el contrario, Muniandi *et al.* (2018) determinaron que la aplicación de 6.75 ml L⁻¹ de AG₃ en kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) redujo significativamente el crecimiento vegetativo en términos de diámetro del tallo y número de hojas en 64.1 % y 83 % respectivamente, en relación al testigo, pero estimuló el alargamiento de las fibras, lo que resultó en una planta alta y delgada.

Resultados similares a los presentados en este trabajo se encontraron en soya (*Glycine max*); ya que el tratamiento con 100 mg L⁻¹ de AG₃ aplicado foliarmente contribuyó al aumento del diámetro del tallo en un 13.5 %, mientras que el tratamiento con 30 mg L⁻¹ de citocininas no mostró ningún efecto en esta variable (Leite *et al.*, 2003).

Por otro lado, un estudio presentado por Ortega-Martínez *et al.* (2013) en plántulas de tomate demostró que las GAs exógenas en una concentración de 10 mg L⁻¹ favorecieron el crecimiento y desarrollo de las plántulas, presentando mayor altura (78.7 %), diámetro del tallo (25 %), número de hojas (57.14 %), así como un mayor peso fresco de raíz (200 %) y plántula (90.6 %) con respecto al testigo.

De manera similar a la variable de altura de planta, los tratamientos 25+0, 50+0 y 100+0 fueron estadísticamente iguales entre sí, pero superiores al testigo, por lo cual la aplicación de 25+0 de AG₃+6-BAP es la más adecuada desde el punto de vista económico.

3.3.3 Peso fresco de la parte aérea

En la Figura 3 se observa que los tratamientos con alguna combinación de los reguladores del crecimiento utilizados en esta investigación, fueron estadísticamente iguales entre sí, pero superiores al testigo en 34 % aproximadamente, por esta razón, aunque la aplicación de ambos reguladores

es benéfica, se puede decir con base a las variables evaluadas anteriormente, que el AG₃ tiene un papel predominante y que no se vio afectado por la presencia de 6-BAP, al menos para esta variable respuesta. Sin embargo, es importante resaltar que el tratamiento 50+0 fue el que dio mejores resultados aumentando el peso fresco de la parte aérea en 59.17 % respecto al testigo. Para el peso fresco de la parte aérea las diferencias entre los tratamientos fueron altamente significativas ($p < 0.0001$).

Si se toma en cuenta que el tratamiento 25+0 no mostro diferencia significativa con el tratamiento 50+0 que fue el que dio mejores resultados; el primero es más adecuado desde el punto de vista económico ya que se obtienen los mismos resultados con una menor dosis.

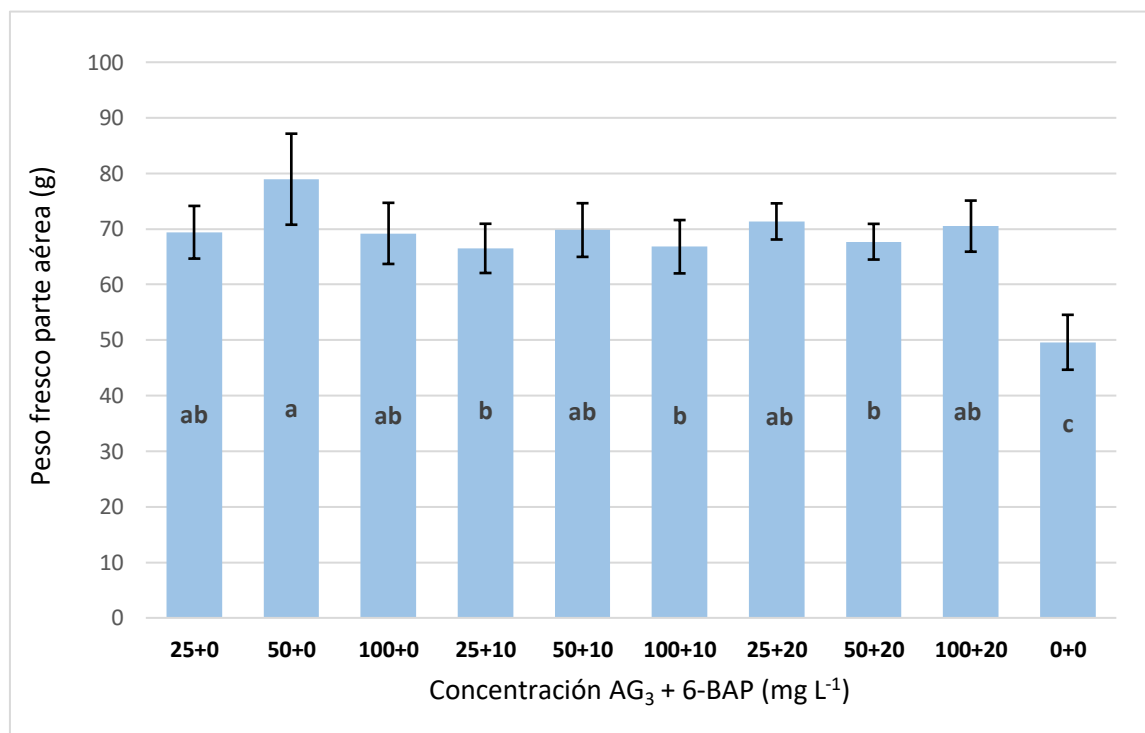


Figura 3. Peso fresco de parte aérea de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Sandoval-Oliveros *et al.* (2017) señalan que el incremento en rendimiento de *Capsicum annuum* L., que observaron fue debido a que el ácido giberélico estuvo

asociado con un aumento en el peso fresco y longitud del fruto. En este sentido Azcón-Bieto y Talón (2000) mencionan que las GAs activan la división celular al acortar la interfase del ciclo celular e inducir a las células en fase G1 a sintetizar ADN. Pero también modifican la extensibilidad de la pared celular, lo que promueve el crecimiento vegetativo.

En un experimento realizado por Abbas (2011) sobre el crecimiento de la planta de zanahoria (*Daucus carota* L.), el uso de 50 ppm de ácido giberélico condujo a incrementar significativamente las características de peso fresco de la parte aérea y el contenido de clorofila en 47.4 % y 47.7 % respectivamente, pero disminuyó el peso fresco y seco de la raíz y los carbohidratos solubles presentes, en comparación con el testigo. Esto se explica según el autor debido a que el ácido giberélico mejora la formación de proteínas y nuevo ARN y aumenta el contenido de clorofila que aumenta el proceso de fotosíntesis y a su vez el contenido de fotosintatos.

Es importante mencionar que las GAs junto con las auxinas influyen de forma indirecta en la absorción de agua al aumentar la elasticidad de la pared celular; por tanto, incrementan la cantidad de agua en la célula (Taiz y Zeiger, 2006) y, en consecuencia, la biomasa fresca.

Por otro lado, según lo reportado por Lagoutte *et al.* (2009) la adición de 5 mg L⁻¹ de 6-BAP en plantas de petunia, permitió lograr plantas de mayor tamaño y peso fresco, aumentando este último un 17 % aproximadamente. Es así como ambos reguladores del crecimiento (AG₃ y 6-BAP) tienen antecedentes experimentales como promotores del peso fresco total y de la parte aérea y es congruente con lo presentado en la Figura 3.

3.3.4 Raíz

El Cuadro 5 muestra de manera general que no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos en las variables de raíz, salvo para el caso del peso seco, el cual fue altamente significativo ($P < 0.001$), ya que las plantas del tratamiento

testigo fue estadísticamente diferente al tratamiento 100+20, pero igual a todos los demás.

Cuadro 5. Variables de raíz de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones.

AG ₃ +6-BAP mg L ⁻¹	Peso fresco de raíz (g)	Peso seco de raíz (g)	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (ml)
25+0	4.4 a ^z	0.27 ab	9.95 a	4.90 a
50+0	6.6 a	0.28 ab	10.47 a	6.85 a
100+0	4.5 a	0.31 ab	10.30 a	4.90 a
25+10	5.5 a	0.25 ab	9.70 a	5.70 a
50+10	5.2 a	0.30 ab	10.90 a	5.40 a
100+10	4.3 a	0.24 b	10.12 a	4.80 a
25+20	5.7 a	0.24 b	10.65 a	6.25 a
50+20	4.4 a	0.24 b	9.87 a	4.90 a
100+20	5.4 a	0.33 a	10.82 a	5.50 a
0+0	3.8 a	0.25 b	10.19 a	4.40 a
P- value	0.093	0.001*	0.920	0.267
CV	28.52	14.09	13.77	11.79

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$; C.V.: coeficiente de variación.

La relación fuente/demanda que se presenta en los órganos de las plantas durante su desarrollo, está afectada por una serie de procesos inherentes a cada especie y por la influencia del ambiente o de factores externos (Barceló *et al.*, 1995). En el presente estudio, puesto que las plantas se desarrollaron en un sistema de cultivo sin suelo y la nutrición se aportaba a través de una solución nutritiva de manera constante, no es necesario que la planta invierta más energía para desarrollar una raíz más grande; por otro lado, el efecto de los reguladores del crecimiento sobre la raíz parece ser nulo, y esto puede ser explicado debido a que las combinaciones de AG₃+6-BAP se aplicaron de manera foliar, y es en la parte aérea donde primordialmente se expresaron sus efectos.

La función de las GAs que mantiene la morfología de la raíz larga y delgada se atribuye a la disposición de los microtúbulos corticales, las microfibrillas de celulosa y factores adicionales desconocidos (Tanimoto, 2005).

En contraste Arrondo (1987) afirma que el rápido y prolongado alargamiento del tallo estimulado por las GAs, puede estar asociado a una disminución en el desarrollo radical. A su vez, las auxinas y citocininas estimulan la producción de etileno de forma sinérgica. Las citocininas por esta razón, deben considerarse como posibles inhibidores y reguladores naturales del crecimiento radical (Stenlid, 1982).

También es importante mencionar que las GAs tienen un movimiento acropetalo al igual que las citocininas, es decir un movimiento de abajo hacia arriba o dicho de otra manera de la raíz al ápice, lo que puede explicar en gran medida por que estos reguladores no tuvieron un gran impacto en la raíz (Zanewich & Rood, 1993; Hirose et al., 2007).

3.3.5 Flor

En el Cuadro 6 se puede observar que las variables respuesta correspondientes a la flor no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que se puede decir que la combinación de reguladores AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones no tuvieron un efecto visible en desarrollo de la flor.

Cuadro 6. Variables de crecimiento de la flor de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones.

Tratamiento	Diámetro Flor 1 (cm)	Diámetro Flor 2 (cm)	Altura Flor 1 (cm)	Altura Flor 2 (cm)
25+0	7.44 a ^z	6.10 a	4.78 a	4.41 a
50+0	7.64 a	6.76 a	4.63 a	4.47 a
100+0	7.53 a	6.29 a	4.77 a	4.54 a
25+10	7.49 a	6.54 a	4.70 a	4.37 a
50+10	7.38 a	6.37 a	4.91 a	4.48 a
100+10	7.30 a	6.35 a	4.66 a	4.42 a
25+20	7.53 a	7.08 a	4.63 a	4.37 a
50+20	7.37 a	6.42 a	4.64 a	4.40 a
100+20	7.52 a	6.38 a	4.64 a	4.37 a
0+0	7.41 a	6.39 a	4.58 a	4.44 a
p-value	0.985	0.356	0.876	0.996
CV	3.1704	8.8024	6.7646	6.3882

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$; C.V.: coeficiente de variación.

Tomando en cuenta que las aplicaciones de AG₃ y 6-BAP se detuvieron al momento de aparecer los primeros botones florales, los resultados obtenidos con respecto a la flor, pudieron no verse directamente afectados por la aplicación de los reguladores de crecimiento; sin embargo, se debe tomar en cuenta un posible efecto acumulado de las aplicaciones anteriores, en cuyo caso tampoco mostraron efectos para el desarrollo de la flor.

Las GAs parecen, más claramente, implicadas en la promoción de diversos aspectos del desarrollo floral, como el crecimiento de anteras, o el desarrollo y la pigmentación de la corola, que en el crecimiento directo de la flor (Azcón- Bieto y Talón, 2000).

Los resultados que se muestran en el Cuadro 6 contrastan con lo reportado por Sharifuzzaman *et al.* (2011) los cuales afirman que la aplicación foliar de 150 ppm de AG₃ fue la más adecuada para obtener un mejor crecimiento de las plantas de

Crisantemo, un número máximo de flores cortadas con un tallo más largo y un tamaño de flor aproximadamente 10 % más grande.

Una observación similar se hizo en otro experimento realizado por Tripathi *et al.* (2003) sobre el crecimiento y floración de la caléndula francesa (*Tagetes patula*) donde se reportó que una concentración de 400 ppm de AG₃ aplicada de manera foliar, aumentó el rendimiento de flores ya que aumentó el número y el diámetro de las mismas en 23.5 % y 25.8 % respectivamente; lo cual contrasta con lo obtenido en este experimento el cual no presentó diferencias significativas en las variables correspondientes a la flor de *lisianthus*.

Sin embargo, es similar a lo reportado por Nambiar *et al.* (2012) sobre la floración de la orquídea *Dendrobium*, cuyos resultados indicaron que la aplicación foliar de 50 ppm de BAP indujo una floración más temprana, pero no influyó significativamente en el tamaño de las flores.

Aunque las citocininas pueden influir en la inducción floral, y por lo tanto, una floración más rápida como lo reportan Valle- Sandoval *et al.* (2008), no influye en el tamaño de las flores, tal como se observa en el Cuadro 6.

3.3.6 Diámetro del botón floral

En la Figura 4 se puede observar que existe una tendencia en cuanto a la aplicación de AG₃ sin 6-BAP, ya que a mayor concentración de AG₃ el diámetro del botón floral fue mayor, como se muestran para los tratamientos 25+0, 50+0 y 100+0; por otro lado, una vez que se combina con 6-BAP se pudo observar de manera general, que hubo una disminución del diámetro, siendo el tratamiento 100+10 el que causó un mayor efecto en la inhibición, disminuyendo un 17 % el diámetro del botón floral con respecto al testigo. Las diferencias entre los tratamientos fueron altamente significativas ($p < 0.0001$) para esta variable respuesta.

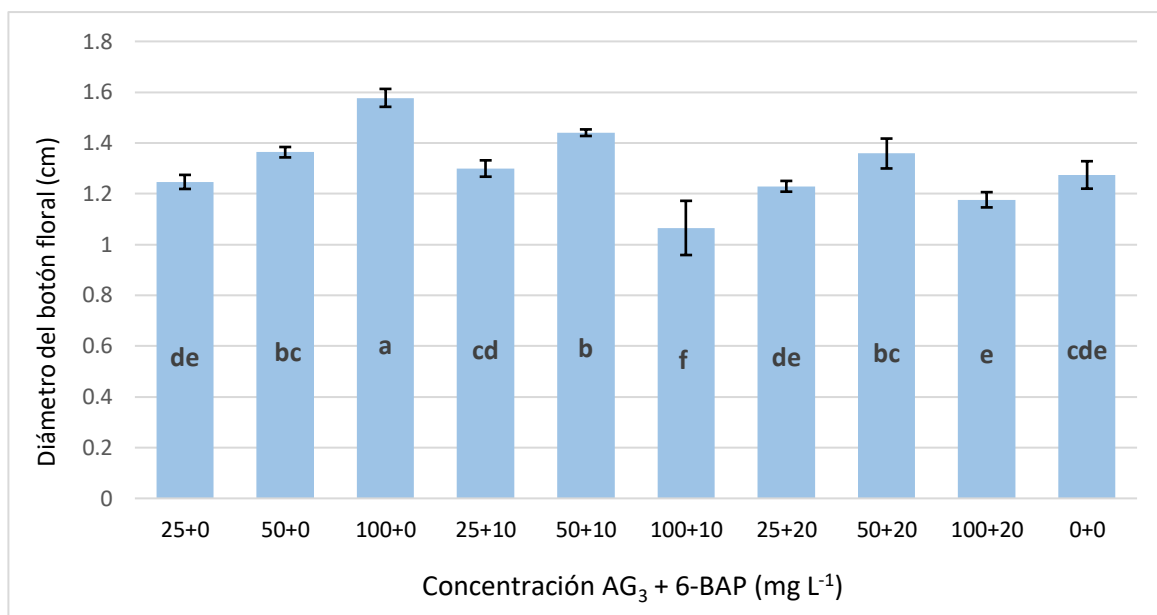


Figura 4. Diámetro del botón floral de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Lo anterior puede ser explicado si se toma en cuenta que las GAs son promotoras del crecimiento por medio de la división celular, al acortar la interfase del ciclo celular e inducir a las células en fase G1 a sintetizar DNA. Pero también modifican la extensibilidad de la pared celular, inducen la deposición transversal de microtúbulos y participan en la regulación del transporte de calcio (Azcón- Bieto y Talón, 2000).

Un estudio realizado por Espinoza *et al.* (2007) en *Lilium* sp. mostró que con la aplicación de bencilaminopurina combinado con GAs (Benciladenina 19 mg L⁻¹+ Giberelina 19 mg L⁻¹) los botones abrieron normalmente en tamaño, pero de forma más lenta.

Por su parte la empresa productora de agroquímicos Greenimport Solutions ® afirma que el 6-BAP promueve la formación de botones florales y promueve la floración (Green Import Solutions, 2019).

En la Figura 4 también se puede observar que la combinación con una mayor dosis de citocininas (100+20) mostró un menor diámetro promedio con respecto al testigo, esto coincide parcialmente con un estudio realizado por Robles-Bermúdez *et al.* (2012) en rosal, donde se señaló que una dosis baja de 6-BAP (0.001 mg L^{-1}) incrementó la longitud y el diámetro del botón con respecto al testigo en un 21.8 % y el 100 % de los botones florales tuvieron mayor calidad; por el contrario, una dosis elevada de 6-BAP de 100 o más mg L^{-1} provocaron daños al botón floral, es decir a mayor concentración de 6-BAP la calidad del botón disminuyó. Por otro lado, en este mismo experimento la adición de AG₃ en una concentración de 100 mg L^{-1} aumentó el diámetro del botón floral en 24.9 % con respecto al testigo.

3.3.7 Número de botones florales

En la Figura 5 se puede observar que la adición de 6-BAP no favoreció la formación de un mayor número de botones florales. Por otra parte, de manera general no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos, excepto en el tratamiento 50+0, el cual aumentó en poco más del doble (133 %) el número de botones florales con respecto al testigo.

Desde otro punto de vista se puede decir que el ácido giberélico tiende a promover un mayor número de botones florales, no solo por lo observado en la Figura 5, sino porque si se toma en cuenta que el 6-BAP promovió el desarrollo de brotes laterales, se esperaría que los brotes más desarrollados produjeran a su vez un mayor número de botones lo cual no sucedió así; si bien el 6-BAP rompe la dominancia apical y promueve el desarrollo lateral no induce a formar un mayor número de botones florales en *lisianthus*.

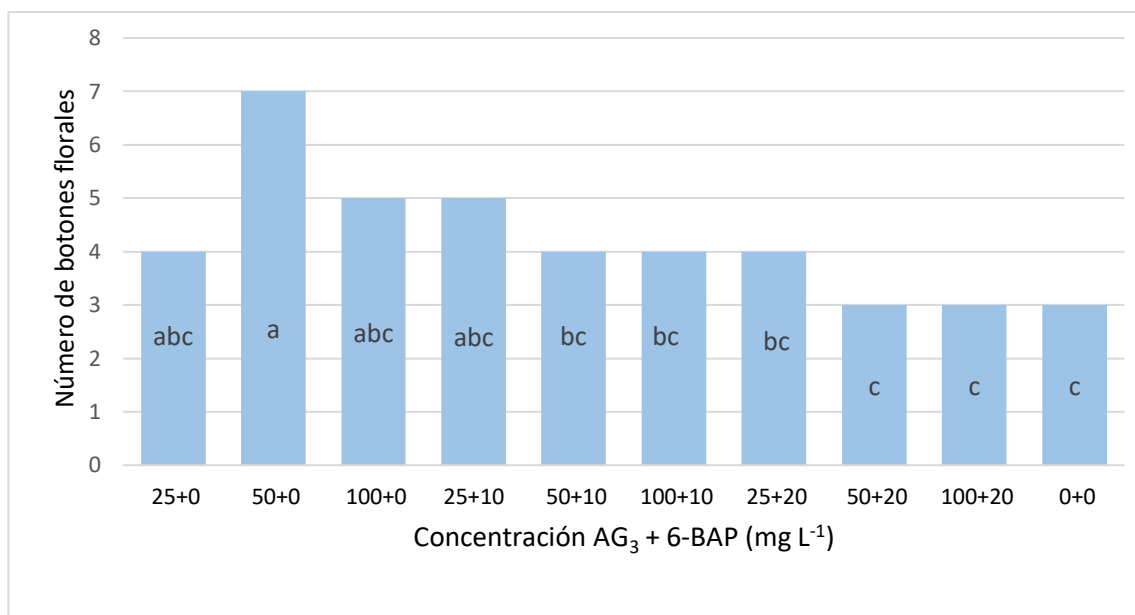


Figura 5. Número de botones florales de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba se realiza tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.

Por el lado práctico, si se considera que los botones evaluados fueron mayores a 1 cm de diámetro, y estos a su vez llegaron a antesis según lo observado en vida poscosecha, el tratamiento de AG₃ sin 6-BAP (50+0) tuvo el mayor impacto positivo en la calidad y subsecuente rentabilidad de lisianthus, ya que un mayor número de botones termina en la formación de más flores por planta.

En este sentido en un experimento llevado a cabo por Henny *et al.* (1999) en syngonio (*Syngonium podophyllum* cv. White Butterfly) tratado con AG₃ (0, 250, 500, 1000 y 2000 mg L⁻¹) mostraron que la aplicación de AG₃ en todos los casos promovió un mayor número de flores frente al testigo el cual no desarrollo ninguna flor.

3.3.8 Número de pares de hojas

En la Figura 6 se puede observar que el tratamiento testigo, al cual no se le aplicaron reguladores, tiene aproximadamente un 21% menos pares de hojas que el resto de los tratamientos, los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre sí; sin embargo, los tratamientos 50+0, 25+10, 100+10, 50+20 y 100+20 fueron estadísticamente superiores al testigo al menos 23.5 %.

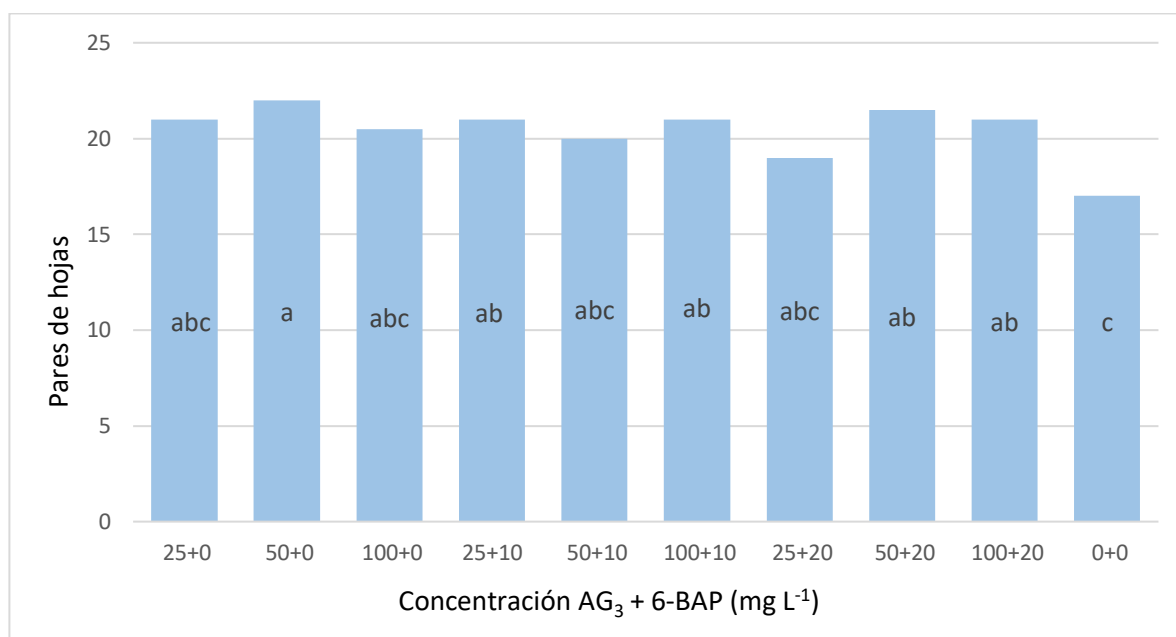


Figura 6. Pares de hojas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba se realizó tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.

En este sentido se conoce que el ácido giberélico aumenta la altura de la planta, número de hojas, área foliar y peso seco y fresco de las plantas, ya que promueve la división y elongación celular (Rodrigues *et al.*, 2011).

Sharifuzzaman *et al.* (2011) señalan que la aplicación de 50, 100 y 150 mg L⁻¹ de AG₃ aplicados vía foliar resultaron en un impacto positivo para el crecimiento

vegetativo de crisantemo, el cual reportó aumentos de 30 %, 51 % y 82 % respectivamente, en el número de hojas.

Un experimento hecho por Ortega-Martínez *et al.* (2013) en plántulas de tomate también mostró que la aplicación de AG₃ (10 mg L⁻¹) estimuló favorablemente el diámetro del tallo, peso fresco de raíz y número de hojas, este último en un 57 % con respecto al testigo.

Por otro lado, resultados similares a los que se presentan en este trabajo fueron obtenidos por Gabrel *et al.* (2018) sobre el efecto de BAP y AG₃ en el crecimiento vegetativo y floración de la planta de crisantemo, las concentraciones utilizadas para ambos reguladores fueron de 0, 50, 100 y 200 ppm lo que dio un total de 16 combinaciones, los resultados mostraron que usando ácido giberélico solo a 200 ppm se obtuvieron aumentos significativos, mientras que el uso de BAP a 100 ppm combinado con ácido giberélico a 200 ppm dio el máximo incremento de todos los parámetros estudiados, entre los cuales estaban el número de hojas, el cual aumento en un 42.6 % con respecto al testigo.

3.3.9 Número de brotes laterales

En la Figura 7 se puede observar que la aplicación de 6-BAP, favoreció la formación de un mayor número de brotes laterales, ya que mientras para los tratamientos que solo tenían AG₃ el número de brotes oscilo entre 0 y 2; para los que estaban en combinación con 6-BAP este número fue superior a 15 en todos los casos. Así mismo es importante señalar que la aplicación de AG₃ no tuvo un efecto, ya que no mostró diferencias estadísticas con el testigo.

Desde el punto de vista económico, el tratamiento 25+10 es el más rentable, ya que ofrece resultados estadísticamente iguales que las dosis más altas, pero con una menor concentración de reguladores.

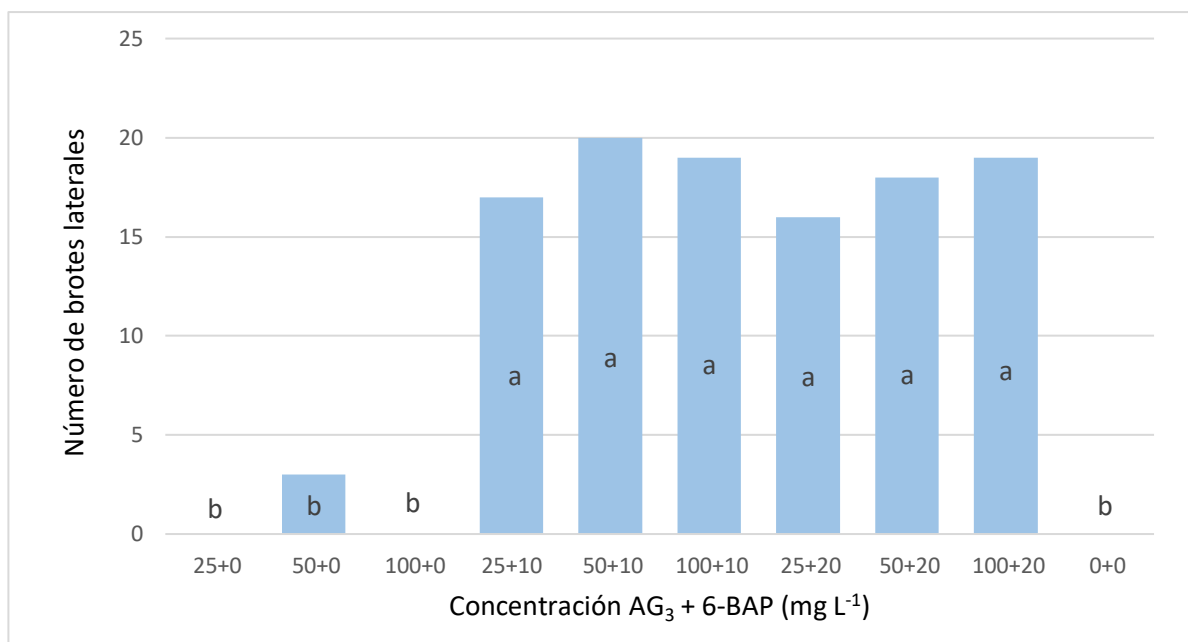


Figura 7. Número de brotes laterales de *Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba se realizó tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.

Junto con las auxinas, la hormona vegetal que tiene la mayor influencia en la dominancia apical es la citocinina. La aplicación de citocininas exógenas como la kinetina, zeatina, isopentenil adenina (IPA) o benciladenina (BA) puede estimular el crecimiento de brotes laterales, lo que sugiere un papel promotor en el crecimiento de la yema lateral ya que induce la división celular, incrementa el contenido de clorofila a través de la diferenciación de cloroplastos, aumenta la actividad fotosintética y participa en la pérdida de dominancia apical. Su aplicación exógena repetida convierte las yemas laterales en órganos de fuerte crecimiento que, en última instancia, pueden incluso dominar el ápice anteriormente dominante, lo que posteriormente convertirá a los brotes laterales en órganos fuente (Cline, 1991; Davies, 1995; Bangerth *et al.*, 2000).

Venegas-González *et al.* (2016) señalan que la aplicación de 500 mg L⁻¹ de 6-BAP en *Pinus*, favoreció el desarrollo de brotes laterales obteniendo un incremento del 414.3 % con respecto al tratamiento control.

De manera similar Lagoutte *et al.* (2009) afirman que la aplicación de 5 mg L⁻¹ de 6-BAP cada 15 días fue positiva en plantas de petunia, ya que aumentó 113 % el número de brotes laterales con respecto al testigo.

Lo descrito anteriormente responde a la capacidad de las citocininas para reducir la dominancia apical, que es la base de su empleo en una serie de preparados comerciales que incrementan la ramificación de plantas con interés frutícola u ornamental (Audesirk *et al.*, 1997).

3.3.10 Longitud de brotes laterales

En la Figura 8 se puede observar que la aplicación de AG₃ sin 6-BAP favorece la longitud de los brotes laterales y que con una aplicación cada vez mayor de este regulador, la longitud mostró una tendencia a aumentar, como se observa en el tratamiento 100+0 el cual resulta aproximadamente tres veces mayor que el testigo.

En contraste, la adición de 6-BAP disminuyó la longitud y con la aplicación de una dosis cada vez mayor de 6-BAP y menor de AG₃, este efecto fue más evidente como en el caso del tratamiento 25+10 el cual fue aproximadamente 55 % menor que el testigo.

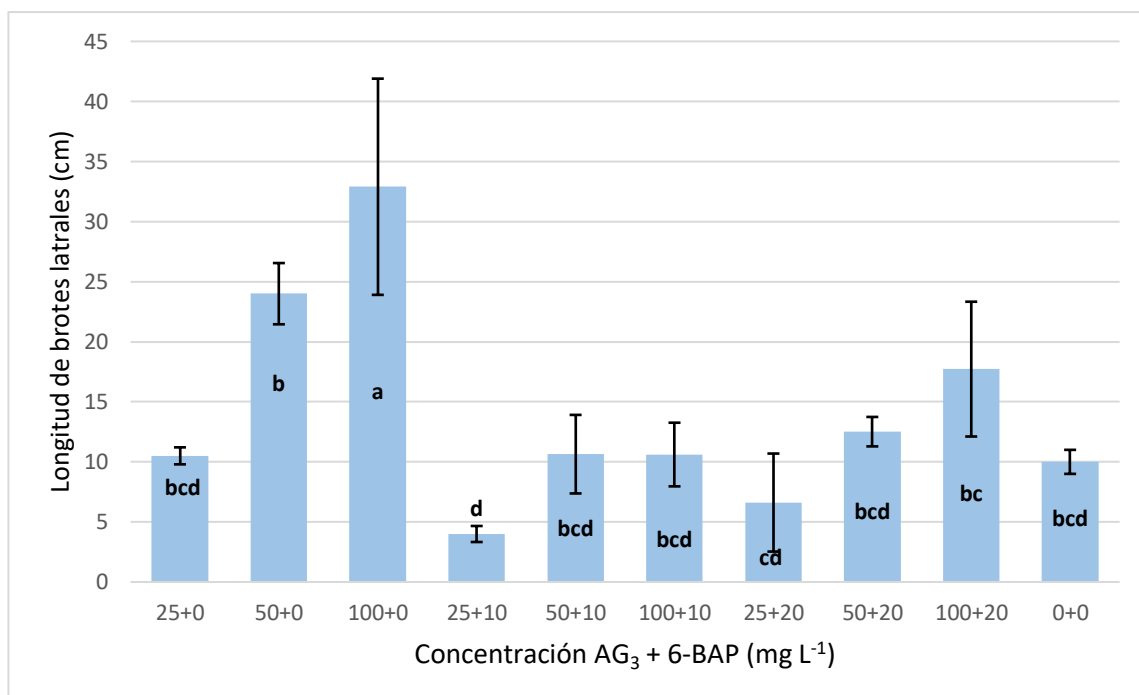


Figura 8. Longitud de brotes laterales de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃ + 6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Como se ha dicho anteriormente para otras variables, las GAs afectan tanto a la división como a la expansión celular, siendo este último proceso el que influye en la elongación del tallo y que probablemente implique una combinación de cambios en las propiedades hidráulicas de la célula y alteraciones en la extensibilidad de la pared celular (Hooley, 1994).

Por otro lado, si bien las citocininas promueven la formación de brotes laterales, también rompen la dominancia apical; así, por una parte, una alta concentración de 6-BAP puede originar un gran número de brotes laterales pero estos brotes por la misma naturaleza del regulador, compuesto por citocininas impedirán su crecimiento en longitud.

Un resultado similar fue obtenido por Alia-Tejacal *et al.* (2011) en plantas de noche buena, donde la aplicación de 8 mg L⁻¹ de AG₃ asperjado vía foliar aumento la longitud de los brotes laterales en un 29 % con respecto al testigo.

3.3.11 Peso seco

El peso seco total mostrado en la Figura 9, refleja la suma de los pesos secos de parte aérea y raíz que fueron evaluados de manera independiente, en el cual el peso seco de la parte aérea tuvo una mayor proporción que el de la raíz en el peso seco total. Se puede observar que todos los tratamientos fueron estadísticamente superiores al testigo por lo menos en un 18 %, y que el AG₃ sin 6-BAP mostró una tendencia a aumentar el peso seco; mientras que, la adición de 6-BAP disminuyó esta variable con excepción de los tratamientos 50+10 y 100+20 que fueron junto con el tratamiento 100+0 los más altos, los cuales aumentaron el peso seco total en un 41.5 % con respecto al testigo.

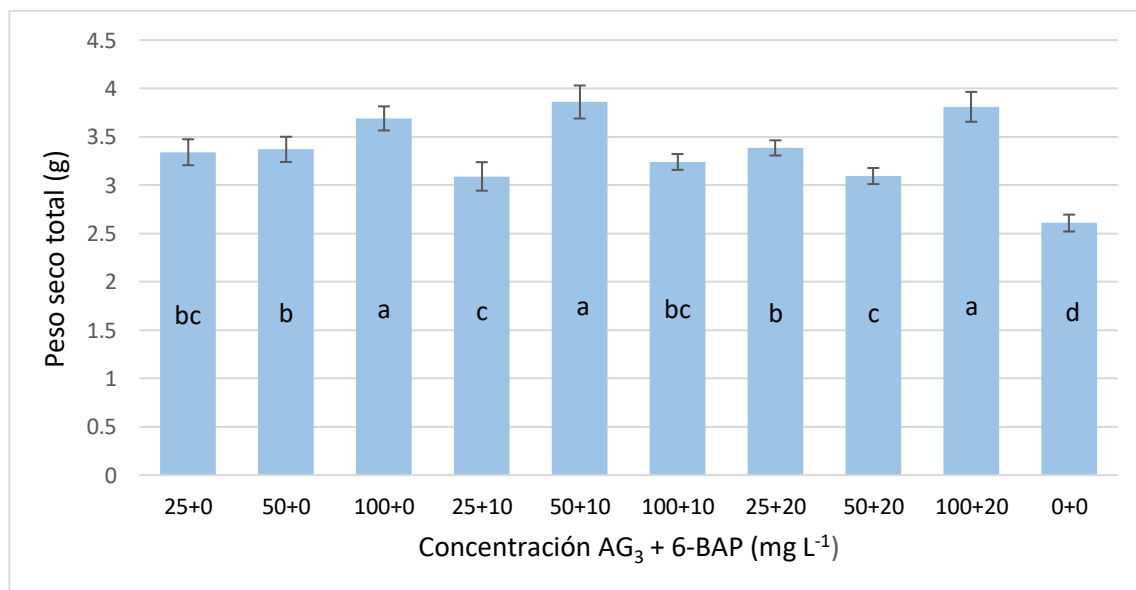


Figura 9. Peso seco total de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃ + 6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Las GAs estimulan fuertemente la división y elongación celular en la porción subapical de los tallos y también en el meristemo intercalar, debido a un efecto sobre la actividad de la enzima xiloglucano endotransglicosilasa (XET) la cual hidroliza xiloglucanos permitiendo nuevos arreglos de la pared celular, para así estimular el crecimiento del tallo, el cual influye en la formación de biomasa (Jan *et al.* 2004).

Las citocininas por su parte tienen un impacto positivo en la división celular ya que estimulan la progresión del ciclo celular probablemente por activación de una fosfatasa (Smith & Atkins 2002).

Los mecanismos de acción de estas dos hormonas en conjunto llevan a un mayor crecimiento y desarrollo de la planta, especialmente en la longitud y diámetro del tallo, así como en el número de hojas, lo que en suma resulta en la formación de más biomasa.

Gabrel *et al.* (2018) reportaron que el efecto de BAP y AG₃ en el crecimiento vegetativo y floración de la planta de crisantemo fue positivo, ya que los resultados mostraron que el uso de BAP a 100 ppm combinado con ácido giberélico a 200 ppm dio el máximo incremento de todos los parámetros estudiados, entre los cuales el peso seco aumento en un 40.7 % con relación al testigo.

De igual forma Constantino *et al.* (2010) reportaron en un estudio realizado sobre el efecto de la biofertilización y AG₃ en el crecimiento de plántulas de *Carica papaya* que la aplicación de 500 ppm de AG₃ vía foliar aumentó la biomasa seca de la planta en un 57 %, lo que resultó congruente ya que también favoreció la altura (128 %) y diámetro del tallo (46 %), así como el número de hojas (41 %).

En otro experimento realizado por Ayesha *et al.* (2020) en clavel (*Dianthus caryophyllus*) se reportó que los tratamientos de 50, 100, 200 y 400 mg L⁻¹ de AG₃, tuvieron un impacto positivo en el crecimiento de la planta destacando la longitud del tallo, el número de hojas y el peso seco de la panta; este último

aumento en un 56 %, 76 %, 103 % y 132 % respectivamente con respecto al testigo; sin embargo, la aplicación de 25 mg L⁻¹ no mostró diferencias con el testigo.

Estos estudios coinciden parcialmente con lo reportado en la Figura 9, la cual muestra que una mayor aplicación de AG₃ favorece un mayor peso seco de la planta.

3.3.12 Número de botones pequeños

La formación de botones pequeños (<5 mm de diámetro), no se vio afectada por la aplicación de los reguladores del crecimiento AG₃ y 6-BAP, ya que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos como se observa en la figura 10.

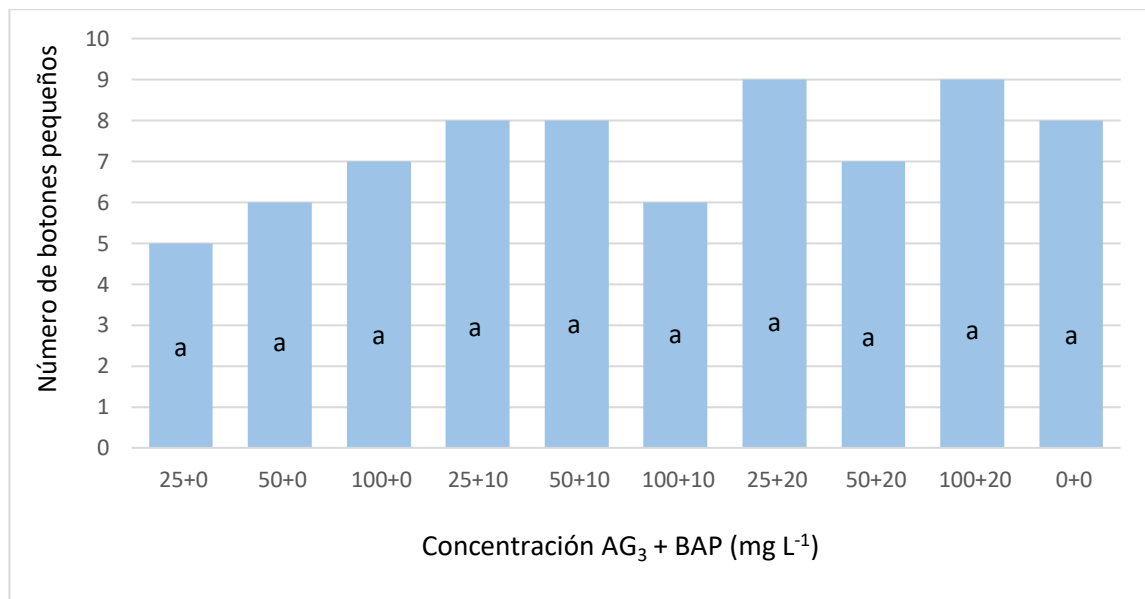


Figura 10. Número de botones pequeños (<5 mm de diámetro) (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales por comparación de pares de la prueba de Kruskal-Wallis. La prueba se realizó tomando en cuenta las medianas de cada tratamiento.

3.3.13 Vida poscosecha

El lisianthus no mostró diferencias estadísticas ($P=0.89$) entre los tratamientos como se muestra en la Figura 11, por lo cual esta variable no se vio afectada por la aplicación de $AG_3 + 6-BAP$, ni tampoco por la aplicación sola de AG_3 , quizás por la excelente calidad de la plántula de origen al momento de la siembra.

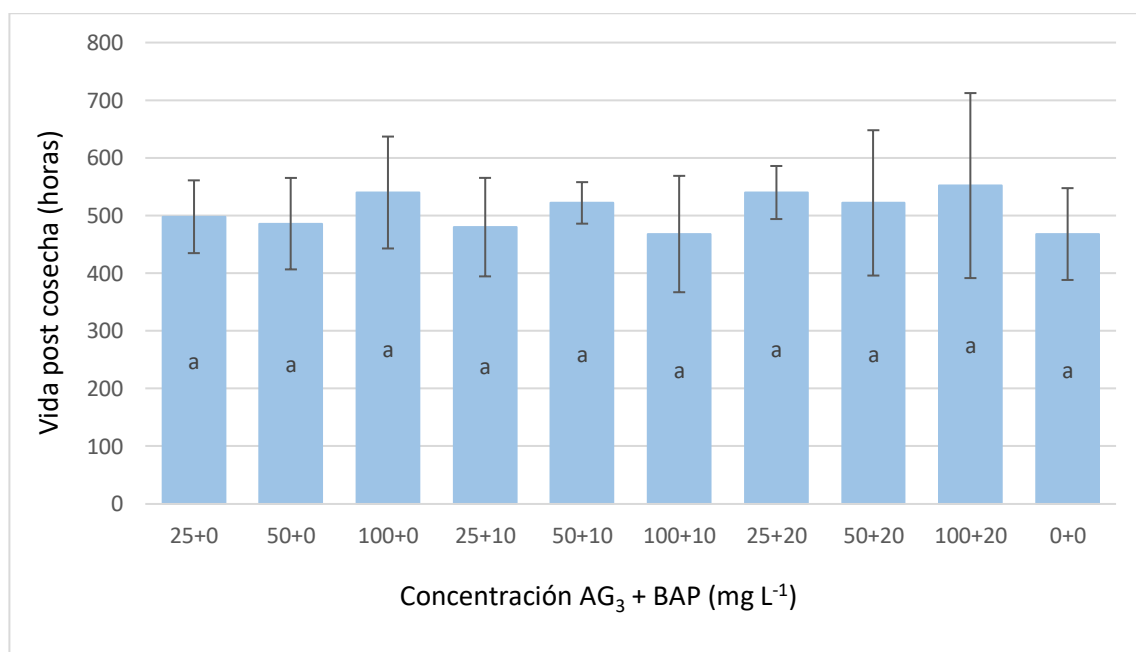


Figura 11. Vida post cosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de $AG_3+6-BAP$ en diferentes concentraciones. Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $p<0.05$). Las barras incluyen la desviación estándar de la media.

Sin embargo, a pesar de los resultados obtenidos en la Figura 11, Davies (1995), menciona que la benciladenina (BA), induce la división celular, incrementa el contenido de clorofila, aumenta la actividad fotosintética y retrasa la senescencia.

Por otro lado, Buchanan *et al.* (2000), señalan que la acción equilibrada de giberelinas y citocininas retrasan la senescencia, mantienen a la planta en estado juvenil, coordinan la maduración de los frutos y la caída de las hojas.

En contraste con los resultados encontrados en este experimento un estudio realizado por Danaee *et al.* (2011) para determinar el efecto del ácido giberélico y la benciladenina en la calidad y vida postcosecha de gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. Good Timing) se observó que los tratamientos con 50 mg L⁻¹ de AG₃ y 50 mg L⁻¹ de BA fueron los más efectivos sobre la vida en florero ya que lograron aumentar los días de vida útil en 59 % y 98 % respectivamente.

Por otro lado, según lo reportado por Gabrel *et al.* (2018) la aplicación de 6-BAP y AG₃ en crisantemo fue neutra, ya que los resultados mostraron que el uso de la combinación que dio mejores resultados para el resto de las variables evaluadas (100 ppm de 6-BAP y 200 ppm de AG₃) tuvo apenas un incremento del 2 % con respecto al testigo en la duración de la flor de crisantemo.

Otro experimento similar fue llevado a cabo por Ranwala & Miller (1998) en *Lilium* híbrido oriental en el cual la aplicación de 100 mg L⁻¹ de ácido giberélico +100 mg L⁻¹ de benciladenina dio como resultado un incremento de 18.7 % en la vida postcosecha de las flores de *Lilium*, superando de este modo a la aplicación de 100 mg L⁻¹ de ácido giberélico la cual solo incremento la vida postcosecha en un 4 %.

3.3.14 Correlación de Pearson para variables discretas

En el Cuadro 7 se puede observar la correlación que existe entre las variables discretas y si estas son significativas, positivas o negativas. Entre las que destacan por tener una correlación estadísticamente significativa, el peso fresco de la parte aérea y altura ($r=0.414$), así como diámetro del tallo y altura ($r=0.479$), lo que indica que a mayor altura existió mayor peso de la parte aérea y un mayor diámetro, lo que resulta congruente, ya que una mayor biomasa fresca de la parte aérea necesita un tallo más fuerte que la pueda sostener.

Cuadro 7. Correlación de Pearson para variables discretas de *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones.

	AT	PFPA	DT	PFR	LR	VR	DF 1	DF 2	AT F1	AT F2	D. BF	PS PA	PS R.	PS T	L BL	VP
AT	1															
PFPA	0.414	1														
	0.003*															
DT	0.479	0.364	1													
	0.000*	0.009*														
PFR	0.015	0.31	0.073	1												
	0.918	0.029*	0.615													
LR	0.05	0.062	-0.055	0.411	1											
	0.73	0.667	0.706	0.003*												
VR	0.004	0.325	0.105	0.942	0.387	1										
	0.98	0.021*	0.467	0.000*	0.005*											
DF 1	-0.031	0.129	0.164	0.02	-0.072	0.027	1									
	0.832	0.371	0.255	0.888	0.619	0.853										
DF 2	-0.193	0.122	-0.146	0.261	0.103	0.249	0.285	1								
	0.188	0.41	0.324	0.073	0.486	0.088	0.05									
AT F1	-0.058	0.138	0.106	0.059	-0.224	-0.068	0.217	0.159	1							
	0.691	0.34	0.465	0.686	0.119	0.64	0.13	0.279								
AT F2	-0.067	-0.029	0.094	0.025	-0.249	-0.048	0.278	0.371	0.741	1						
	0.649	0.844	0.525	0.866	0.088	0.746	0.056	0.009*	0.000*							
D.BF	0.185	0.103	0.461	0.045	0.05	0.047	0.136	0.096	0.088	0.147	1					
	0.197	0.476	0.001*	0.757	0.731	0.747	0.347	0.517	0.542	0.32						
PS PA	0.434	0.567	0.073	0.18	0.155	0.104	0.067	-0.049	0.224	0.075	0.241	1				
	0.002*	0.000*	0.616	0.211	0.282	0.474	0.642	0.742	0.119	0.613	0.092					
PS R.	0.352	0.207	0.12	0.077	0.281	0.005	0.098	-0.156	-0.005	0.045	0.258	0.579	1			
	0.012*	0.149	0.405	0.595	0.048*	0.974	0.5	0.289	0.971	0.761	0.071	0.000*				
PS T	0.445	0.549	0.082	0.176	0.178	0.096	0.074	-0.065	0.206	0.075	0.255	0.995	0.659	1		
	0.001*	0.000*	0.571	0.222	0.215	0.506	0.608	0.662	0.152	0.614	0.074	0.000*	0.000*			
L BL	0.204	0.434	0.074	0.278	0.009	0.09	0.034	0.233	0.304	0.358	0.247	0.412	0.286	-0.007	1	
	0.207	0.005*	0.648	0.083	0.956	0.58	0.837	0.148	0.057	0.023*	0.124	0.008	0.074	0.971		
VP	-0.004	0.058	-0.007	0.176	0.15	0.126	0.201	0.008	0	-0.094	0.172	0.283	0.082	0.269	0.265	1
	0.979	0.721	0.965	0.278	0.356	0.44	0.213	0.963	0.999	0.568	0.289	0.077	0.615	0.093	0.091	

*Significativo a $P \leq 0.05$

AT=altura, PFPA= peso fresco de la parte aérea, DT= diámetro del tallo, PFR= peso fresco de raíz, LR=longitud de raíz, VR= volumen de raíz, DF 1= diámetro de flor 1, DF 2=diámetro de flor 2, AT F1=altura de flor 1, AT F2= altura de flor 2, D. BF= diámetro del botón floral; PS PA= peso seco de la parte aérea, PS R= peso seco de raíz, PS T=peso seco total, L BL= longitud de brotes laterales, VP= vida postcosecha.

Por otro lado, se puede observar que el peso fresco de la parte aérea tiene una correlación positiva y estadísticamente significativa con el peso fresco de raíz ($r=0.31$); los estudios que relacionan las raíces con la parte aérea (biomasa de raíz/biomasa de parte aérea) muestran que existe una interdependencia entre el

sistema radical y la parte aérea de la planta y resaltan la importancia del equilibrio funcional entre las dos partes (Van Noordwijk & De Willigen, 1987).

Otra correlación que vale la pena mencionar es el diámetro del tallo con diámetro del botón floral ($r=0.461$), la cual indica que a mayor crecimiento del tallo existió un mayor crecimiento del botón; esto quizás pueda ser explicado ya que un tallo con mayor diámetro soporta un mayor y mejor crecimiento de las estructuras florales.

Es importante mencionar que existen algunas otras correlaciones estadísticamente significativas que por su naturaleza de pertenecer a un mismo grupo ya sea de raíz o peso seco, resultan congruentes, como es el caso de peso fresco de raíz y volumen de raíz ($r=0.942$), que tienen una correlación positiva y altamente significativa ($p<0.001$).

3.3.15 Correlación de Spearman para variables discretas

En el Cuadro 8 se pueden observar las correlaciones para las variables discretas, entre las cuales destacan pares de hojas con número de botones florales ($r=0.282$), lo cual quiere decir que a mayor número de botones florales existe un mayor número de pares de hojas, esto puede ser explicado por las relaciones fuente-demanda en donde el crecimiento y desarrollo de las plantas depende de la energía ganada por la fijación de CO_2 en forma de carbohidratos durante la fotosíntesis, y la translocación de los foto-asimilados de su sitio de síntesis a regiones de utilización y de almacenamiento que en este caso fueron los botones florales (Sonnewald & Willmitzer, 1992).

Cuadro 8. Correlación de Spearman para variables discretas de *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes concentraciones.

Variables	Pares de hojas	Número de botones florales	Número de botones pequeños	Número de brotes laterales
Pares de hojas	1			
Número de botones florales	0.282 0.047*	1		
Número de botones pequeños	-0.158 0.274	-0.307 0.03*	1	
Número de brotes laterales	0.258 0.07	-0.062 0.667	0.283 0.046*	1

*Significativo a $P < 0.05$

También se observa que existe una correlación positiva entre número de botones pequeños con número de brotes laterales, lo que resulta congruente ya que una mayor ramificación de brotes laterales dará una mayor formación de botones, pero de menor tamaño en comparación a los presentes en el eje principal.

Existe una correlación negativa entre el número de botones florales y botones pequeños ($r = -0.307$) lo que indica que a mayor número de botones florales (>1 cm de diámetro) se inhibe la formación de botones pequeños (<5 mm), esto se puede explicar por las relaciones fuente demanda en donde un botón más grande, necesitara una mayor cantidad de fotosintatos, mientras que un botón menor a 5 mm no llega a floración según lo observado en vida postcosecha.

3.3.16 Correlación canónica

En el cuadro 9 se observa el grado de correlación canónica que existió entre distintos grupos de variables y si esta fue o no significativa, así como el porcentaje de la primera función canónica.

Cuadro 9. Medidas de ajuste global del modelo para el análisis de correlación canónica de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Blue cultivadas en hidroponía con aplicaciones foliares de AG₃+6-BAP en diferentes

Correlación canónica	Función Canónica	Ro	Porcentaje	Significancia
Parte aérea (tallo floral) y raíz	1	0.635	76.27	0.0108*
Parte aérea y flor	1	0.693	78.99	0.0118*
Flor y raíz	1	0.476	44.18	0.2030

concentraciones.

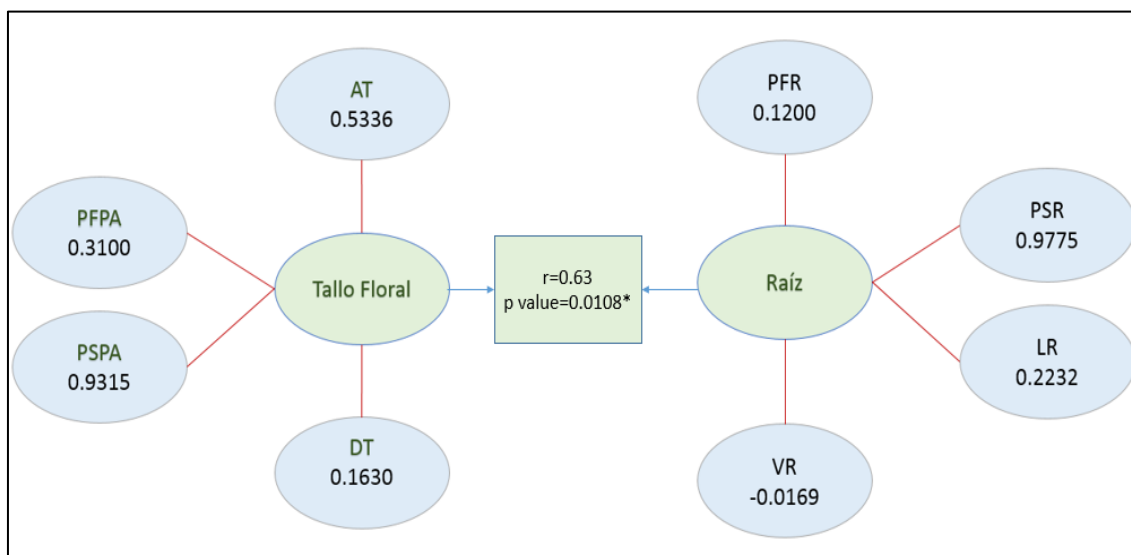
* Significativo al 0.05

3.3.17 Correlación canónica entre crecimiento parte aérea (tallo floral) y el crecimiento de raíz de lisianthus.

El Cuadro 9 se muestra que existe una correlación positiva y altamente significativa ($p=0.0108$) entre las variables de crecimiento de la parte aérea (Tallo Floral) con el grupo de variables de raíz con un valor de 0.635 lo que sugiere que el desarrollo de la parte aérea impacta la formación de raíces en la planta de lisianthus.

Por otro lado, la Figura 12 muestra una fracción de la estructura canónica, donde se señalan los coeficientes de correlación entre la primera variable canónica de cada grupo con sus variables originales.

En la variable canónica “Tallo Floral” correspondiente a variables de la parte aérea; las variables originales con mayor influencia fueron la altura del tallo y el peso seco de la parte aérea, mientras que, para la variable canónica de “Raíz”, las de mayor influencia fueron peso seco de raíz y longitud de raíz.



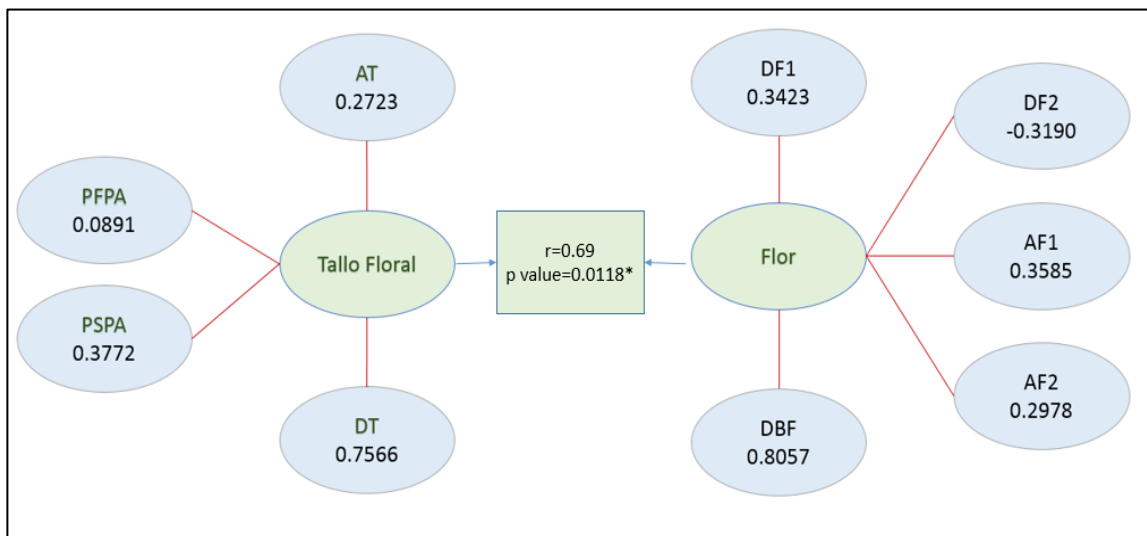
Tallo floral= Variables de crecimiento de tallo floral; AT=Altura del tallo; PFPa=Peso fresco de la parte aérea; PSPa=Peso seco de la parte aérea; DT=Diámetro de tallo; Raíz= Variables de crecimiento de la raíz; PFR=Peso fresco de raíz; PSR=Peso seco de raíz; Longitud de raíz; VR=Volumen de raíz.

Figura 12. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales.

3.3.18 Correlación canónica entre el crecimiento de la parte aérea y el crecimiento de la flor de lisianthus

El Cuadro 9 muestra que existe una correlación positiva y altamente significativa ($p=0.0118$) entre las variables de crecimiento de la parte aérea (tallo floral) con el grupo de variables de crecimiento de la flor con un valor de 0.693 lo que propone que el desarrollo de la parte aérea tiene una correlación directa con el crecimiento de la flor de lisianthus.

En la Figura 13 se puede observar que para la primera variable canónica “Tallo Floral” la variable original que más aporta para su formación es el diámetro del tallo (0.75) seguida por el peso seco de la parte aérea (0.37), y en relación a la variable canónica “Flor” la variable original con mayor influencia fue diámetro del botón floral con un valor de 0.8057, esto coincide con lo observado anteriormente en la correlación de Pearson donde se encontró una correlación altamente significativa ($p < 0.001$) entre el diámetro del tallo y diámetro del botón floral ($r = 0.461$).



Tallo floral= Variables de crecimiento de tallo floral; AT=Altura; PFA=Peso fresco de la parte aérea; PSPA=Peso seco de la parte aérea; DT=Diámetro de tallo; Flor=Variables de crecimiento de la flor; DF1= Diámetro de flor 1; DF2=Diámetro de flor 2; AF1=Altura de flor 1; AF2=Altura de flor 2; Diámetro del botón floral.

Figura 13. Fracción de la estructura canónica mostrando la primera variable canónica de cada grupo y la correlación simple con sus respectivas variables originales.

3.3.19 Correlación canónica entre el crecimiento de la flor y el crecimiento de la raíz de *lisianthus*

En el Cuadro 9 se observa que la correlación canónica entre el grupo de variables de raíz con el grupo de variables de la flor no fue estadísticamente significativa ($p=0.203$) lo que indica que el desarrollo de la flor no fue influenciado de manera importante por el desarrollo de la raíz.

3.4 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este experimento se concluyó que el ácido giberélico y la bencilaminopurina actuaron de manera independiente en las variables donde tuvieron un efecto significativo.

Los tratamientos 50+0 y 100+0 ($AG_3+6-BAP$) fueron los que favorecieron el mayor crecimiento de la planta para flor de corte (altura, diámetro del tallo, número de hojas, peso fresco de la parte aérea y número de botones florales). Por otro lado, los tratamientos con 6-BAP favorecieron la formación de un mayor número de brotes laterales en todos los casos siendo el mejor el tratamiento 50+10 ($AG_3+6-BAP$). Sin embargo, el uso de estos reguladores ($AG_3+6-BAP$) no mostró un efecto significativo en el tamaño de la flor y vida poscosecha de *lisianthus*.

Desde el punto de vista económico y tomando en cuenta todas las variables evaluadas, el tratamiento más adecuado que obtuvo los mejores resultados y a su vez exigió un menor uso de reguladores fue el tratamiento 50+0. Sin embargo, es importante mencionar que en para algunas variables específicas el tratamiento 25+0 mostró estadísticamente los mismos resultados lo que hace a este tratamiento una opción económicamente más viable.

3.5 LITERATURA CITADA

- Abbas, E. D. 2011. effect of GA₃ on growth and some physiological characterizes in carrot plant (*Daucus carota* L.). Ibn Al-Haitham Journal for Pure and Applied science, 24(3):33-39.
- Alcántara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara, J. D., Sánchez, R. M. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA, 17(32): 109-129. DOI: <https://doi.org/10.25058/24629448.3639>
- Alia-Tejacal, I.; Valdez-Aguilar, L.A.; Campos-Bravo, E.; Sainz-Aispuro, M de J.; Pérez-Arias, G.A.; Colinas-León, M.T.; Andrade-Rodríguez, M.; López-Martínez, V. y Alvear-García, A. 2011. Efecto de la aspersión de ácido giberélico en el crecimiento de cinco cultivares de nochebuena. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 2(3): 577–589.
- Arrondo, E. 1987. Revisión: Giberelinas. Revista Catalana de Micología. 11(10):23-27. <http://revistes.iec.cat/index.php/RCMic/article/viewFile/59816/59911> consultado 18 de Octubre 2020.
- Audesirk, T., Audesirk, G., & Byers, B. E. (1997). Biology: Life on earth. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Ayesha, R., Hassan, I., Abbasi, N. A., & Khan, K. S. 2020. Regulation of morpho-physiological and vase quality attributes of Carnation (*Dianthus caryophyllus*) cv. Tabasco mediated by GA₃. Pakistan Journal of Botany, 52(5): 1561-1568. DOI: [10.30848 / PJB2020-5 \(30\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-5(30))
- Azcón-Bieto J, y Talón, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. (2ª ed.). Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf> Consultado 3 de Octubre de 2020.
- Bangerth, F., Li, C. J., & Gruber, J. 2000. Mutual interaction of auxin and cytokinins in regulating correlative dominance. Plant Growth Regulation, 32(2-3): 205-217. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010742721004>
- Barceló, J., Nicolás, G., Sabater B. y Sánchez, R. 1995. Fisiología vegetal (2ª ed.). Madrid, España: Ediciones Pirámide S.A.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. 2000. Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville, USA.: American Society of Plant Biologists.

- Castillo-González, A. M., Valdez-Aguilar, L. A., & Avitia-García, E. (2019). Response of *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) to applications of growth regulators. *Acta Horticulturae*, (1263): 241–244. DOI:10.17660/actahortic.2019.1263.31
- Cline, M. G. (1991). Apical dominance. *The Botanical Review*, 57(4): 318-358. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02858771>
- Constantino, M., Álvarez, R. G., Álvarez-Solís, J. D., Pat-Fernández, J., & Espín, G. (2010). Efecto de la biofertilización y los biorreguladores en la germinación y el crecimiento de *Carica papaya* L. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(2): 103-115.
- Danaee, E., Mostofi, Y., & Moradi, P. 2011. Effect of GA₃ and BA on postharvest quality and vase life of gerbera (*Gerbera jamesonii*. cv. Good Timing) cut flowers. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52(2): 140-144. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13580-011-1581-7>
- Davies, P.J. 1995. *The plant hormones: their nature, occurrence and factors in plant physiology, biochemistry and molecular biology*. (2^a ed.). Ithaca, NY: Kluwer Academic Publishers.
- Davies, P.J. 1995. *The plant hormones: their nature, occurrence and factors in plant physiology, biochemistry and molecular biology*. (2^a ed.). Ithaca, NY: Kluwer Academic Publishers.
- Espinoza, C., Berger, H., Galletti, L. y Muller, C. 2007. Efectividad de benciladenina mas giberelina 4+7 aplicadas por aspersión o inmersión, para la conservación de *Lilium* cv. Visaversa. *Agro Sur*, 35(2): 33-35. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2007.v35n2-17>
- Gabrel, F., Mahmoud, K., & Ali, N. (2018). Effect of Benzyl Adenine and Gibberellic Acid on the Vegetative Growth and Flowering of Chrysanthemum Plant. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 63(1): 29-40.
- García, E. 1973. *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köpen*. Instituto de Geografía. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Green Import Solutions. 2019. 6 Bencil Aminopurina. Green Import Solutions. Recuperado 22 de septiembre de 2020, de <http://www.greenimportsol.com/producto/6-bencil-aminopurina/>

- Henny R.J., Norma D.J. and Kane M.F. 1999. Gibberellic acid-induced flowering of *Syngonium podophyllum* Scott 'White Butterfly'. Hortscience, 34(4): 676–677. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.4.676>
- Hirose, N., Takei, K., Kuroha, T., Kamada-Nobusada, T., Hayashi, H., & Sakakibara, H. 2007. Regulation of cytokinin biosynthesis, compartmentalization and translocation. Journal of Experimental Botany, 59(1), 75–83. DOI:10.1093/jxb/erm157
- Hooley, R. (1994). Gibberellins: perception, transduction and responses. Plant Molecular Biology, 26(5): 1529-1555. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00016489>
- Jan, A., Yang, G., Nakamura, H., Ichikawa, H., Kitano, H., Matsuoka, M., & Komatsu, S. 2004. Characterization of a xyloglucan endotransglucosylase gene that is up-regulated by gibberellin in rice. Plant Physiology, 136(3): 3670-3681.
- Jones, R.L. and Kaufman, P.B. 1983. The role of gibberellins in the elongation of plant cells. Critical Reviews in Plant Sciences, 1 (1): 23–47. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352688309382170>
- Lagoutte, S.; Divo de Sesar, M.; Vilella F. 2009. Efecto del tamaño de celdas y citoquininas en el crecimiento de plantas de petunia. Revista Internacional de Botánica Experimental PHYTON, 1(78): 31-36. <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol78/LAGOUTTE.pdf> Consultado 3 de Octubre de 2020.
- Leite, V. M., Rosolem, C. A., & Rodrigues, J. D. 2003. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. Scientia Agricola, 60(3): 537-541. DOI: [10.1590 / S0103-90162003000300019](https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300019)
- Muniandi, S. K. M., Hossain, M. A., Abdullah, M. P., & Ab Shukor, N. A. 2018. Gibberellic acid (GA₃) affects growth and development of some selected kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) cultivars. Industrial Crops and Products, 118(1): 180-187. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.03.036
- Nambiar, N., Siang, T.C. and Mahmood, M. 2012. Effect of 6-Benzylaminopurine on flowering of a Dendrobium orchid. Australian Journal of Crop Science-AJCS, 6: 225-231.
- Ortega-Martínez, L.D.; Ocampo, J.; Martínez, C.; Pérez A.; y Sánchez J. 2013. Efecto de las giberelinas sobre el crecimiento y calidad de plántulas de tomate. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud Biotecnia, XV (3): 56-60. DOI: <https://doi.org/10.18633/bt.v15i3.159>.

- Ranwala, A. P., & Miller, W. B. (1998). Gibberellin⁴+ 7, Benzyladenine, and Supplemental Light Improve Postharvest Leaf and Flower Quality of Cold-stored Stargazer Hybrid Lilies. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4): 563-568. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.123.4.563>
- Robles-Bermúdez, A., Rodríguez-Maciél, J. C., Lagunes-Tejeda, A.I., Gómez-Aguilar, R., Gutiérrez-Espinosa, J. A., Díaz-Gómez, O., y Martínez-Cárdenas, L. 2012. Giberelinas, citocininas y protector floral en la calidad de la flor de rosal (*Rosa x Hybrida*). *Bioagro*, 24(1): 45-50
- Rodrigues, C., Vandenberghe, L. P. de S., de Oliveira, J., and Soccol, C. R. 2011. New perspectives of gibberellic acid production: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32(3): 263–273.
- Sandoval-Oliveros, R., Guevara-Olvera, L., Beltrán, J. P., Gómez-Mena, C., & Acosta-García, G. 2017. Developmental landmarks during floral ontogeny of jalapeño chili pepper (*Capsicum annuum* L.) and the effect of gibberellin on ovary growth. *Plant Reproduction*, 30(3): 119-129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00497-017-0307-0>
- Sarkar, M. A. H., Hossain, M. I., Uddin, A. F. M. J., Uddin, M. A. N., & Sarkar, M. D. 2014. Vegetative, floral and yield attributes of gladiolus in response to gibberellic acid and corm size. *Scientia Agriculturae*, 3: 142-146. DOI: 10.15192/PSCP.SA.2014.3.3.142146.
- SAS Institute Inc. 2006. Base SAS 9.1.3 Procedures Guide: *CORR*; *FREQ*; and *UNIVARIATE Procedures* (2^a ed.). USA: SAS Institute Inc.
- Sharifuzzaman, S.M., Ara, K.A., Rahman, M.H., Kabir, K. and Talukdar, M.B. 2011. Effect of GA₃, CCC and MH on vegetative growth, flower yield and quality of Chrysanthemum. *International Journal of Experimental Agriculture*. 2(1): 17-20.
- Smith, P. M., & Atkins, C. A. 2002. Purine biosynthesis. Big in cell division, even bigger in nitrogen assimilation. *Plant Physiology*, 128(3): 793-802. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.010912>
- Sonnewald, U. & Willmitzer, L. 1992. Molecular approaches to sink-source interactions. *Plant Physiology*, 99: 1267-1270.
- Steiner, A. A., 1984. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture International Soc. For Soilless Culture. ISOSC. Wageningen, The Netherlands.

- Stenlid, G. 1982. Cytokinins as inhibitors of root growth. *Physiologia Plantarum*, 56(4): 500–506. DOI:10.1111/j.1399-3054.1982.tb04546.x
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (4^a ed). Sunderland, UK: Sinauer Associates.
- Tanimoto, E. 2005. Regulation of Root Growth by Plant Hormones: Roles for Auxin and Gibberellin. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(4): 249–265. DOI:10.1080/07352680500196108
- Tripathi, A. N., Tripathi, S. N., Shukla, R. K., & Pandey, G. (2003). Effect of GA, NAA and CCC on growth and flowering of French marigold (*Tagetes patula*). *Journal of Applied Horticulture*, 5(2): 112-113.
- Valle-Sandoval, M.R., Mascorro-Gallardo, J.O., Gil-Vázquez, I., & Iturriaga-de la Fuente, G. 2008. Regeneración directa in vitro del crisantemo, *Dendranthema X grandiflorum* Kitam, a partir de segmentos de tallo. *Universidad y Ciencia*, 24(3), 219-227. DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a24n3.257>
- Van Noordwijk, M., & De Willigen, P. (1987). Agricultural concepts of roots: from morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth. *Wageningen Journal of Life Sciences*, 35(4): 487-496. DOI: <https://doi.org/10.18174/njas.v35i4.16707>.
- Venegas-González, A., Muñoz, V. L., y Toral-Ibañeza, M.I. 2016. Influencia del uso de reguladores de crecimiento sobre brotes vegetativos y número de estróbilos masculinos en *Pinus pinea* L. *Ciencia Forestal*, 26(4): 1087-1096. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509824997>.
- Vieira M.R., De Souza A.V., Santos C.M., Alves L.S., Cerqueira R.C., Paes R.A., de Souza A.D., and Fernandes L.M. 2011. Stem diameter and height of chrysanthemum cv Yoko ono as affected by gibberellic acid. *African Journal of Biotechnology*, 10(56): 11943-11947. DOI: 10.5897/AJB11.821
- Zanewich, K. P., & Rood, S. B. 1993. Distribution of endogenous gibberellins in vegetative and reproductive organs of Brassica. *Journal of Plant Growth Regulation*, 12(1): 41-42.