

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA



Influencia de Elementos Benéficos y Levadura en el Desarrollo Vegetativo y
Calidad Floral de *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*)

Por:

JOCELYN JAZMIN TORRES LOPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
PROGRAMA DOCENTE DE LA CARRERA DE
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Influencia de Elementos Benéficos y Levadura en el Desarrollo Vegetativo y Calidad
Floral de Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*)

Por:


JOCELYN JAZMIN TORRES LOPEZ

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

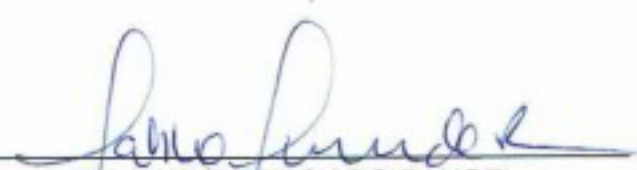
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité Asesor:


DR JOSE ANTONIO GONZALEZ FUENTES
Asesor Principal


M.C. CARLOS ALBERTO GABRIEL ZUNUN
Asesor Principal Externo


DR. JOSE ALFREDO HERNANDEZ MARURI
Coasesor


DR. PABLO PRECIADO RANGEL
Coasesor


DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2026

Declaración de no plagio

El autor, en su calidad de responsable directo del presente trabajo, manifiesta bajo protesta de decir verdad que en su elaboración no se incurrió en plagio ni en ninguna práctica académica indebida. En particular, declara que no se realizó la reproducción de textos o fragmentos sin el debido reconocimiento de la fuente o autor original; no se reutilizó material propio previamente publicado sin la referencia correspondiente; no se adquirieron, sustrajeron ni utilizaron datos, información o trabajos académicos ajenos para presentarlos como propios; no se omitieron referencias bibliográficas ni se incluyeron citas textuales sin el uso adecuado de comillas; no se emplearon ideas, argumentos o razonamientos de otros autores sin su debida citación; y no se utilizó material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o bases de datos sin el reconocimiento explícito de la autoría y/o fuente original.

Asimismo, el autor declara tener conocimiento de que cualquier uso no autorizado de dichos materiales, incluyendo su reproducción, modificación, edición o explotación con fines de lucro, será sujeto a las sanciones establecidas por las autoridades competentes. En consecuencia, asume plena responsabilidad por las implicaciones derivadas de cualquier forma de plagio que pudiera identificarse y afirma que el presente trabajo es producto de una elaboración original.

Pasante



Jocelyn Jazmín Torres López

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por ser mi guía permanente, por darme la salud, la disciplina y la oportunidad de alcanzar esta meta profesional. Su presencia fue fundamental para mantener la fe y la perseverancia a lo largo de este camino.

A mi querida “**ALMA MATER**”, por permitirme ser buitres y por convertirse en mi segunda casa, dejando una huella imborrable en mi formación y en la persona que hoy soy.

A **mi familia**, quienes han sido mi mayor impulso y sostén. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, por su amor incondicional y por acompañarme en cada esfuerzo realizado para llegar a la culminación de esta meta académica.

Al **Dr. José Antonio González Fuentes**, por incluirme en este proyecto y depositar su confianza en mí. Gracias por la oportunidad y el respaldo brindado para la realización de este trabajo académico.

Al **M.C. Carlos Alberto Gabriel Zunun**, por su orientación constante, paciencia y acompañamiento. Sus observaciones y consejos fueron clave para la culminación de este proyecto.

DEDICATORIAS

A mi madre, **Susana Verónica López Santiago** por ser el pilar más firme en cada etapa de mi vida. Por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudé de mis propias capacidades, por acompañarme siempre.

A mi abuela, **María Dolores Gutiérrez Valentín** mi segunda madre y una de las personas más importantes en mi vida. Por estar siempre a mi lado, por su apoyo incondicional y por acompañarme en todo este proceso.

A mi abuelo, **Nicolás Elías Torres Laredo** (†) dedico este logro con el corazón lleno de gratitud, con la esperanza de que, donde quiera que estés, puedas sentirte orgulloso de mí.

A mi tío, **Nicolás Torres Gutiérrez** quien con amor, responsabilidad y entrega asumió en mi vida el papel de un padre. Por estar presente cuando más lo necesité, por guiarme y apoyarme en cada etapa de mi formación personal y académica.

A mis hermanos, **Enrique Torres y Jonathan Torres**, mis nenes y la razón más grande por la que nunca dejé de seguir adelante. Pensar en ustedes me dio la fuerza necesaria para continuar, recordándome siempre el ejemplo que quería ser para sus vidas.

A mis primos, **Nicolás Elías, Ricardo Axel e Inés**, por ser parte de mis logros más grandes.

A **Abad Peña**, por ser mi compañía y apoyo incondicional a lo largo de todo este camino, por permanecer a mi lado sin condiciones, por motivarme siempre. Por muchas de las veces en que dudé, fuiste tú quien me recordó quién era y hasta dónde podía llegar.

A mi mejor amigo y colega, **Cristian Alexander Peña González**, por estar a mi lado con esta amistad sincera, leal y constante. Gracias por acompañarme en cada etapa, por escucharme y por no soltarme nunca, siempre en las buenas y en las malas.

A **Rosella Ithaí** por estar conmigo en estos años de amistad, por tu apoyo, tus mensajes a distancia y tus porras fueron un impulso constante para seguir adelante y nunca rendirme.

A **Alejandra Carpio Reyna** a quien la carrera me regaló y que en tan poco tiempo se convirtió en alguien especial. Por acompañarme, por escucharme y estar para mí.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
HIPÓTESIS	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1.1 Importancia de la floricultura	5
2.1.2 Importancia de la floricultura en el mundo	5
2.1.3 Importancia de la floricultura en México	7
2.2 Lisianthus	8
2.2.1 Principales zonas de cultivo en México	8
2.2.2 Estadísticas de producción	9
2.3 Descripción de lisianthus	9
2.3.1 Origen y distribución geográfica	9
2.3.2 Taxonomía	10
2.3.3 Principales usos	10
2.3.4 Rentabilidad en el mercado de lisianthus	11
2.4 Condiciones edafoclimáticas ideales	12
2.4.1 Temperatura y radiación solar	12
2.4.2 Altitud, microclima y ventilación	12
2.4.3 Fotoperíodo e intensidad luminosa	13
2.4.4 Sustrato y propiedades físicas del suelo	13
2.4.5 Manejo hídrico y salinidad	14
2.4.6 Requerimientos nutricionales y fertilización	14
2.5 Manejo agronómico	15
2.5.1 Propagación	15
2.5.2 Riego	16
	VI

2.5.3 Control de plagas y enfermedades.....	16
2.5.4 Cosecha y postcosecha	17
2.6 Problemáticas que presenta el cultivo de lisianthus en su producción	17
2.6.1 Riego, salinidad y calidad del agua	17
2.6.2 Nutrición y desequilibrios	18
2.6.3 Patógenos del sustrato y del follaje	18
2.6.4 Factores ambientales: temperatura, rosetting y estructura del sustrato	19
2.7 Nutrición vegetal y elementos esenciales.....	19
2.7.1 ¿Qué es la nutrición vegetal?.....	19
2.7.2 Principios generales.....	20
2.7.3 Elementos esenciales	21
2.8 Macronutrientes	21
2.8.1 Nitrógeno (N)	21
2.8.2 Fósforo (P).....	22
2.8.3 Potasio (K).....	22
2.8.4 Calcio (Ca).....	22
2.8.5 Magnesio (Mg)	22
2.8.6 Azufre (S)	22
2.9 Micronutrientes.....	22
2.9.1 Hierro (Fe)	23
2.9.2 Manganeso (Mn)	23
2.9.3 Zinc (Zn).....	23
2.9.5 Boro (B).....	23
2.9.6 Molibdeno (Mo)	23
2.9.7 Cloro (Cl).....	23
2.10 Elementos esenciales en ornamentales	24
2.11 Elementos benéficos.....	25
2.11.1 Definición y diferenciación de esenciales	25
2.11.2 Importancia fisiológica y agronómica	25
2.12 Elementos benéficos emergentes y su impacto en cultivos.....	26
2.12.1 Selenio (Se)	26
2.12.2 Cobalto (Co)	27
2.12.3 Yodo (I)	27
2.12.4 Silicio (Si).....	27

2.12.5 Levaduras / Extractos de levadura.....	27
2.12.6 Influencia de las levaduras en la agricultura	28
2.12.7 Características de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	29
2.12.8 Rol de estos elementos en el metabolismo vegetal.....	30
2.12.9 Influencia en el metabolismo vegetal	30
2.12.10 Efectos en crecimiento, desarrollo y resistencia al estrés.....	31
2.12.11 Uso en sistemas agrícolas y producción ornamental	31
2.12.12 Empleo en la producción ornamental	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1.1 Ubicación del experimento.....	33
3.1.2 Establecimiento del experimento.....	34
3.1.3 Descripción de los tratamientos.....	34
3.2 Variables evaluadas	35
3.2.1 Altura.....	35
3.2.2 Diámetro de tallo	36
3.2.3 Número de hojas.....	37
3.2.4 Largo de hojas	38
3.2.5 Ancho de hojas	38
3.2.6 Número de botones florales.....	39
3.2.7 Peso fresco de la flor	39
3.2.8 Peso seco de la flor	40
3.2.9 Peso seco de la planta	40
3.2.10 Diámetro ecuatorial	41
3.2.11 Diámetro polar.....	41
3.2.12 Longitud del pedúnculo.....	42
3.2.13 Diámetro del pedúnculo.....	43
3.3 Análisis estadísticos de los datos.....	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIÓN	74
VI. LITERATURA CITADA	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dosis aplicadas de elementos benéficos y levadura vía foliar en lisianthus.	34
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medición de altura de planta en lisianthus.....	36
Figura 2. Medición de diámetro de tallos de lisianthus.....	37
Figura 3. Conteo manual de hojas de lisianthus.....	37
Figura 4. Medición de largo de hoja de lisianthus	38
Figura 5. Medición de ancho de hoja de lisianthus	39
Figura 6. Conteo manual de botones florales de lisianthus.....	39
Figura 7. Medición de peso fresco de flores de lisianthus	40
Figura 8. Medición de peso seco de flores de lisianthus	40
Figura 9. Medición de peso seco de tallos de lisianthus	41
Figura 10. Medición de diámetro ecuatorial de lisianthus	41
Figura 11. Medición de diámetro polar de lisianthus.....	42
Figura 12. Medición de longitud de pedúnculo de lisianthus (utilizando vernier digital)	43
Figura 13. Medición de diámetro del pedúnculo de lisianthus.....	43
Figura 14. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en la altura del lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).	45
Figura 15. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro del tallo de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).	47
Figura 16. Efecto de la aplicación foliar de elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes sobre el número de hojas en lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)......	49
Figura 17. Efecto de la aplicación foliar de elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el largo de hojas de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)......	51
Figura 18. Efecto de la aplicación foliar de elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el ancho de hojas de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)......	54
Figura 19. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el número de botones florales de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).	56
Figura 20. Efecto de los elementos benéficos y levadura como bioestimulantes en el peso fresco de la flor de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).	58
Figura 21. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el peso seco de la flor de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).	61
Figura 22. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el peso seco de la planta de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)......	63

Figura 23. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro ecuatorial de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).....	66
Figura 24. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro polar de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>).....	68
Figura 25. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en la longitud del pedúnculo del lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)....	70
Figura 26. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro del pedúnculo del lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i>)...	72

RESUMEN

El uso de elementos benéficos y bioestimulantes ha cobrado creciente relevancia en la agricultura moderna debido a su potencial para mejorar el crecimiento, la calidad y la eficiencia fisiológica de los cultivos, particularmente en sistemas productivos orientados a la sostenibilidad. En el sector ornamental, estos insumos resultan particularmente importantes, ya que la calidad visual y estructural de las plantas determina directamente su valor comercial. Dentro de este contexto, el lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) se ha consolidado como una flor de alto valor económico; sin embargo, su producción nacional continúa siendo limitada y requiere estrategias de manejo nutricional más eficientes. El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia de la aplicación foliar de elementos benéficos como selenio, cobalto, yodo y silicio, así como del extracto de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, sobre el crecimiento vegetativo y la calidad floral del lisianthus. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con 21 tratamientos y cuatro repeticiones, considerando diferentes dosis de cada elemento como bioestimulante. Los resultados mostraron respuestas diferenciadas y dependientes de la dosis aplicada. En términos generales, las concentraciones intermedias promovieron mejoras significativas en variables vegetativas y florales, mientras que las dosis elevadas tendieron a generar efectos negativos asociados a toxicidad. El yodo favoreció principalmente la altura de planta; el silicio incrementó el diámetro del tallo; y la levadura destacó por aumentar el número de hojas, el peso fresco y seco, así como el número de botones florales. Por su parte, el cobalto y el selenio, aplicados en bajas concentraciones, mejoraron características florales relacionadas con el tamaño de la flor y el número de pétalos. Colectivamente, los resultados confirman que los elementos benéficos y la levadura pueden emplearse como herramientas complementarias para optimizar el crecimiento y la calidad floral del lisianthus, contribuyendo al desarrollo de sistemas de producción ornamental más eficientes y sostenibles.

Palabras clave: Lisianthus, elementos, benéficos, bioestimulantes, *Saccharomyces cerevisiae*, calidad floral

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los bioestimulantes han adquirido un papel estratégico en la agricultura debido a su capacidad para mejorar el crecimiento, la eficiencia fisiológica y la calidad de los cultivos mediante la activación de procesos metabólicos y fisiológicos específicos. A diferencia de los fertilizantes tradicionales, estos productos actúan modulando el metabolismo vegetal, promoviendo la absorción de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico y el desarrollo morfológico de las plantas (du Jardin, 2015; Yakhin et al., 2017). Diversos estudios han demostrado que sustancias como aminoácidos, extractos de algas, microorganismos benéficos, levaduras y ciertos elementos traza pueden estimular respuestas positivas en el crecimiento y la productividad vegetal, lo que los convierte en herramientas clave para sistemas agrícolas más eficientes y sostenibles (Calvo et al., 2014; Roupheal & Colla, 2020).

En el sector ornamental, el uso de bioestimulantes resulta particularmente relevante, ya que la calidad visual del producto final expresada en características como la longitud del tallo, el diámetro del pedúnculo, la uniformidad del crecimiento y la intensidad de la floración determina su valor comercial. La floricultura representa una actividad económica de alto valor agregado a nivel mundial, con un impacto significativo en el empleo, las exportaciones y el desarrollo de cadenas productivas especializadas (AIPH, 2024). Este sector demanda tecnologías innovadoras que permitan mejorar la calidad de las flores sin comprometer la sostenibilidad de los sistemas de producción, lo que ha impulsado el interés por el uso de bioestimulantes y micronutrientes en cultivos ornamentales (Rout & Das, 2017).

Dentro de las flores de corte, el lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) se ha consolidado como una especie ornamental de gran importancia comercial debido a la elegancia de sus flores, la diversidad cromática y su prolongada vida en florero. Estas características han favorecido su posicionamiento en los mercados florícolas internacionales, donde es altamente demandado para arreglos florales y eventos especiales (Anderson, 2006). Sin embargo, el cultivo de lisianthus presenta requerimientos específicos de manejo nutricional y ambiental, lo que hace necesario el desarrollo de estrategias que optimicen su crecimiento y calidad. Investigaciones previas han evidenciado que la nutrición mineral y el equilibrio entre macro y micronutrientes

influyen de manera directa en el desarrollo vegetativo y floral de esta especie (Hernández-Pérez et al., 2016), lo que resalta la importancia de evaluar nuevas alternativas de manejo. En este contexto, el presente estudio se desarrolló con la finalidad de evaluar el efecto de distintos elementos como bioestimulantes sobre variables morfológicas y productivas del lisianthus, tales como la longitud del tallo, el diámetro del pedúnculo y otros parámetros asociados a la calidad ornamental. La investigación se orientó a determinar si la aplicación de estos compuestos puede mejorar el crecimiento y la calidad del cultivo, así como identificar las dosis más eficientes, contribuyendo al desarrollo de estrategias de manejo nutricional que fortalezcan la competitividad del lisianthus en la floricultura ornamental.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la influencia de la aplicación de elementos benéficos como selenio, cobalto, yodo y silicio, así como de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, sobre la floración y el rendimiento productivo del cultivo de lisianthus.

Objetivos Específicos

Analizar la respuesta del lisianthus en su crecimiento vegetativo y desarrollo floral ante la aplicación de selenio, cobalto, yodo, silicio y levadura.

Comparar los efectos de los distintos tratamientos con elementos benéficos y levadura sobre la acumulación de biomasa y los parámetros de floración del lisianthus.

Identificar las dosis más eficientes de los elementos benéficos y de la levadura que promuevan un mejor desempeño en el crecimiento y desarrollo del lisianthus.

HIPÓTESIS

Hipótesis Alterna:

La aplicación vía foliar de selenio, cobalto, silicio y levadura favorecerá de manera significativa los parámetros productivos y la calidad de las plantas de lisianthus.

Hipótesis Nula:

La aplicación foliar de selenio, cobalto, silicio y levadura no favorecerá de manera significativa los parámetros productivos y la calidad de las plantas de lisianthus.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.1 Importancia de la floricultura

La floricultura, entendida en un sentido amplio, se define como la actividad dedicada al cultivo de flores de corte y plantas ornamentales con fines decorativos, realizada en explotaciones florícolas cuyo destino final es la comercialización (Morisigue et al., 2012). Actualmente, el comercio de flores cortadas constituye una industria de gran relevancia tanto en países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo, con un valor estimado superior a los 100,000 millones de dólares anuales a nivel global. Un ejemplo de ello es Estados Unidos, donde el valor total de las flores cortadas pasó de 403 millones de dólares en 2009 a 462 millones en 2014 (SAF, 2015).

2.1.2 Importancia de la floricultura en el mundo

En la Horticultura, las ornamentales han tenido un alto desarrollo muy importante. Por ello el lisianthus es un cultivo ornamental relativamente importante en el mercado internacional, que logró posicionarse con rapidez entre las diez flores de corte más importantes a nivel mundial (Anderson, 2006). Este éxito se atribuye a la semejanza de sus flores con la rosa, su notable vida poscosecha y la amplia gama de colores y patrones florales disponibles. En Estados Unidos, su popularidad continúa en ascenso, tanto como flor de corte, con más de 14 millones de tallos vendidos, así como en su uso como planta en maceta (Anderson, 2006).

En el caso de Holanda, considerado el principal productor de flores de corte en el ámbito mundial, el lisianthus ocupó el décimo lugar entre las flores más producidas en 2016 (Hanks, 2018). De igual manera, en Japón se comercializaron alrededor de 23.4 millones de tallos de esta especie en 2008 (INFOCENTER-FIA, 2010). Posteriormente, en Japón se registró al lisianthus como la tercera especie ornamental con mayor superficie sembrada (435 ha). En Taiwán ocupó el sexto lugar con 130 ha y, en los Países Bajos, el décimo lugar con 45 ha destinadas a este cultivo (Hanks, 2015).

La producción y el comercio de plantas y flores ornamentales constituyen una actividad económica global de alto valor, con efectos directos sobre ingresos de exportación, empleo rural y cadenas logísticas internacionales. El comercio internacional de flores cortadas (HS 0603) mostró en 2023 volúmenes y valores significativos, siendo el comercio concentrado en unos pocos países exportadores que actúan como centros logísticos y de distribución para mercados consumidores finales (AIPH, 2024).

Desde una perspectiva económica, el sector global de flores cortadas genera ingresos que se sitúan en el rango de varios miles de millones de dólares estadounidenses. Sin embargo, la magnitud de estas cifras depende del criterio metodológico adoptado, ya sea que el análisis se limite al intercambio comercial internacional clasificado en la fracción arancelaria HS 0603, o que abarque de manera integral todos los eslabones que conforman la cadena productiva y de comercialización de la floricultura (World Integrated Trade Solution, 2023). Bajo este enfoque, las estadísticas de comercio internacional correspondientes al año 2023 posicionan a los Países Bajos como el principal país exportador de flores cortadas, con un valor aproximado de USD 4.7 mil millones, seguido por Colombia (alrededor de USD 2.06 mil millones), Ecuador (cerca de USD 0.97 mil millones) y Kenia (aproximadamente USD 0.66 mil millones). Este comportamiento confirma la relevancia estratégica tanto de los nodos logísticos europeos como de las naciones productoras ubicadas en zonas tropicales en el suministro hacia los mercados florícolas de mayor demanda a nivel internacional (World Integrated Trade Solution, 2023).

Desde la perspectiva de la participación relativa en el comercio internacional, los datos correspondientes a 2023 evidencian una elevada concentración del mercado mundial de flores cortadas en un número reducido de países. En este sentido, Países Bajos concentró cerca de la mitad del valor total exportado a nivel global, con una participación estimada entre 45 y 47 %, lo que reafirma su posición como principal centro de comercialización y redistribución internacional (TrendEconomy, 2023). Asimismo, Colombia representó aproximadamente entre 18 y 21 % del valor total de las exportaciones, mientras que Ecuador alcanzó una participación cercana al 9–10 %, destacándose como actores clave en el suministro de flores cortadas a los mercados internacionales (TrendEconomy, 2023).

En relación con el volumen de producción medido en número de tallos, estimaciones sectoriales indican que la floricultura europea opera a una escala altamente intensiva, con una producción anual que se contabiliza en miles de millones de tallos. Para 2023, se ha estimado que la producción continental europea alcanzó alrededor de 9 000 millones de tallos, lo que pone de manifiesto la elevada densidad productiva y la relevancia económica de esta región dentro del mercado internacional de flores cortadas (AIPH, 2024). La magnitud de esta actividad se refleja no solo en la generación de divisas para los principales países exportadores, sino también en su contribución al empleo rural y periurbano, al involucrar amplios contingentes de mano de obra directa e indirecta en las etapas de producción, acondicionamiento y logística. Asimismo, la elevada concentración de la producción y del comercio internacional en un número reducido de países incrementa la sensibilidad de la cadena global frente a variaciones en los costos logísticos, energéticos y regulatorios, particularmente en materia fitosanitaria, factores que han influido de manera significativa en la dinámica del sector durante los últimos años (AIPH, 2024).

2.1.3 Importancia de la floricultura en México

En México, la producción de plantas ornamentales posee una relevancia cultural, ambiental, social y económica considerable. Para el año 2017, esta actividad generaba aproximadamente 188,000 empleos directos y alrededor de 1,000,000 de empleos indirectos, integrándose por una amplia diversidad de pequeños y grandes productores que desarrollan la actividad en predios y viveros ubicados en entidades como Baja California, Colima, Chiapas, Ciudad de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla, Veracruz, Yucatán y el Estado de México (ASERCA, 2017).

De acuerdo con los registros oficiales, en 2023 la floricultura ornamental en México alcanzó una producción aproximada de 4,978 millones de flores, generando un valor económico cercano a 9,036 millones de pesos. Dentro del ámbito nacional, el Estado de México se consolidó como la principal entidad productora, al concentrar 7,058 millones de pesos, lo que equivale al 78.1 % del valor total de la producción, evidenciando una marcada concentración regional de la actividad florícola en el país (SIAP, 2024).

Acorde a la producción por tipo de flor, los datos oficiales indican que las especies ornamentales de mayor relevancia en México corresponden a la rosa, que representa aproximadamente el 32.4 % del volumen total, y al crisantemo, con cerca del 26 %. No obstante, la floricultura nacional también incluye una diversidad significativa de especies como gladiola, gerbera, liliun (azucena) y girasol ornamental, las cuales contribuyen de manera importante a la diversificación productiva y a la oferta del mercado interno y de exportación (SIAP, 2024).

En cuanto al cultivo de lisianthus, la superficie establecida en el país es cercana a las 40 hectáreas. Los principales centros de producción se localizan en Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla; así como en Guadalajara y diversas zonas de Jalisco (Fernández Pavía, 2018).

2.2 Lisianthus

Eustoma grandiflorum, también conocida anteriormente como *Eustoma andrewsii*, *E. russellianum* o *Lisianthus russellianus*, recibe en la actualidad el nombre común de lisianthus (Harbaugh, 2007). Se trata de una planta ornamental que puede cultivarse tanto con fines de flor de corte como para su uso en maceta (Melgares de Aguilar, 1996).

2.2.1 Principales zonas de cultivo en México

En los últimos años, la producción de Lisianthus en México ha crecido de modo paulatino, y ciertos estados destacan por su contribución, especialmente en floricultura ornamental general (Maldonado-Cabrera, Pérez-Ríos y Domínguez-Narváez, 2022).

El Estado de México aparece recurrentemente como líder en la producción de flores ornamentales, tanto en superficie como en volumen, y se reporta que municipios como Tenancingo, Villa Guerrero, Amanalco y Valle de Bravo concentran gran parte de esa actividad (Maldonado-Cabrera et al., 2022). Aunque no todos los estudios separan Lisianthus por municipio, estos lugares ofrecen condiciones climáticas e infraestructurales (cercanía a mercado, acceso a insumos, disponibilidad de invernaderos) propicias para este cultivo (Maldonado-Cabrera et al., 2022).

Morelos también se menciona en trabajos acerca de producción ornamental, investigación agronómica y evaluación poscosecha de *Lisianthus* ('ABC Blue Rim') (Pérez-Arias, Alia-Tejagal, Valdez-Aguilar et al., 2022). En ese contexto, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos ha participado en estudios que muestran la viabilidad de manejar calidad floral y vida en florero bajo distintas condiciones de almacenamiento (Pérez-Arias et al., 2022).

Además, Coahuila surge como otra zona con investigación aplicada, especialmente en Saltillo, con estudios de cultivo en invernadero y ensayos de mezclas de sustratos orgánicos y zeolíticos (Valdivia Montes, 2017).

2.2.2 Estadísticas de producción

Alvarado-Camarillo, Flores-Pérez et al. (2018) afirma que actualmente no se tienen estadísticas oficiales de producción específica de *Lisianthus* en México, aunque reconoce que *Lisianthus* se cultiva en Morelos, Estado de México, Puebla e Hidalgo bajo condiciones protegidas, y que las épocas de cosecha coinciden con días festivos importantes como el 14 de febrero y el 10 de mayo.

En el Valle del Mezquital, Hidalgo, un estudio de Maldonado-Cabrera, Pérez-Ríos y Domínguez-Narváez (2022) analizó la producción de flores ornamentales (*Lisianthus*) usando aguas residuales, con fines ambientales y económicos. Aunque el estudio describe prácticas, costos, retos y ventajas, no proporciona un volumen nacional específico de producción de *Lisianthus*.

En la tesis de Isabela Pérez Méndez (2021) se evalúa producción de *Lisianthus* 'Mariachi Blue' bajo diferentes niveles de nutrición mineral y tratamiento con ácido salicílico en condiciones de invernadero, reportando mejoras en número de flores, tamaño de éstas, peso seco y fresco, y precocidad de floración gracias al tratamiento. Pero nuevamente, no se dan cifras de producción total por hectárea o volumen nacional.

2.3 Descripción de *lisianthus*

2.3.1 Origen y distribución geográfica

El lisianthus es una planta ornamental originaria de las zonas áridas del sur de Estados Unidos y del norte de México (Halevy & Kofranek, 1984). Por su hábitat natural, se desarrolla en praderas de regiones llanas, encontrándose poblaciones en el norte de México y en diversos estados norteamericanos como Texas, Oklahoma, Kansas, Nebraska, Colorado, Wyoming y Dakota del Sur (Harbaugh, 2007).

2.3.2 Taxonomía

Según Rodríguez-Chavez (2015), la especie (*Eustoma grandiflorum*) se clasifica en:

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Gentianaceae

Género: *Eustoma*

Especie: (*Eustoma grandiflorum*)

2.3.3 Principales usos

El lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) es una de las especies ornamentales de mayor valor comercial en los mercados nacionales e internacionales debido a su versatilidad y a la amplia aceptación estética de sus flores. Su uso principal se encuentra en la producción de flores de corte, donde destaca por la calidad de sus tallos, la diversidad de colores y su vida en florero, la cual es superior a la de otras ornamentales de mercado similar (Murakami Seed Co., 2023). Esta característica lo convierte en un componente frecuente de arreglos florales, ramos comerciales, arreglos institucionales y diseños florales de alto valor agregado.

Además, el lisianthus tiene un papel relevante como planta ornamental en maceta, especialmente en etapas juveniles o en cultivares desarrollados específicamente para este propósito. La tendencia de los sistemas de producción a generar plantas compactas, de floración uniforme y con alto impacto visual ha impulsado su presencia en viveros y centros de jardinería (Sakata, 2022).

En el ámbito del diseño floral, el lisianthus se utiliza en eventos sociales, principalmente bodas, aniversarios y ceremonias formales, gracias a su asociación estética con la rosa y a su

amplia gama de colores, que incluyen blancos, rosados, lilas, púrpuras y variedades bicolors (Royal Horticultural Society, 2021). Su forma delicada y su capacidad para conservar la turgencia bajo condiciones adecuadas de hidratación lo hacen altamente apreciado por floristas profesionales.

Asimismo, en algunos sistemas agrícolas se ha utilizado como especie para rotaciones ornamentales y como cultivo de especialidad que diversifica la oferta productiva y aumenta la rentabilidad de pequeñas y medianas unidades agrícolas, particularmente en regiones con infraestructura de invernadero o malla sombra (Flores et al., 2020).

2.3.4 Rentabilidad en el mercado de lisianthus

El lisianthus es un cultivo ornamental con alto potencial económico, especialmente en invernaderos, debido a su demanda para exportación y a su ciclo productivo relativamente eficiente (Karli et al., 2022). Un estudio realizado en la provincia de Antalya, Turquía, analizó la estructura de costos de la producción de flores de corte (incluyendo lisianthus) y determinó que la participación del costo variable en el total fue de aproximadamente el 64,03 % para este cultivo, siendo los principales elementos de gasto la mano de obra, fertilizantes, plántulas, plaguicidas y el arrendamiento de tierra (Karli et al., 2022). En ese mismo estudio se estimó un “relative profit value” para lisianthus de 1.26, lo que refleja un retorno positivo, aunque menor comparado con el de otras ornamentales como gerbera (Karli et al., 2022).

En el contexto mexicano, la producción de lisianthus bajo condiciones de invernadero también ha sido estudiada como una herramienta para mejorar ingresos rurales. La producción de lisianthus en invernaderos rústicos en San Lorenzo Jilotepequillo, Oaxaca, arrojó un costo promedio por flor de 13.38 pesos y una ganancia de 11.61 pesos por unidad. Este nivel de ingreso permitió un beneficio económico de 7,808 pesos durante los cuatro meses de producción analizados, lo que equivale a 1,952 pesos al mes, suficiente para cubrir las necesidades alimenticias básicas de una persona según el umbral de pobreza extrema utilizado por los autores (Morales-Guerra et al., 2024).

Asimismo, un estudio de producción ornamental en México analizó el uso de aguas residuales en el riego de lisianthus, encontrando que esta alternativa no solo baja los costos de insumos hídricos, sino que puede mejorar la sostenibilidad económica del cultivo al reducir el consumo de agua fresca (Maldonado Cabrera, et al., 2023). Aunque el estudio no

reporta un margen de beneficio tan alto como el turco, sí muestra que el *lisianthus* puede adaptarse a sistemas de producción con costos reducidos y contribuir a la rentabilidad bajo condiciones menos convencionales.

2.4 Condiciones edafoclimáticas ideales

2.4.1 Temperatura y radiación solar

La temperatura constituye uno de los factores más determinantes en la fisiología del *lisianthus*, influyendo en la floración, la longitud de tallo y la formación foliar. En un estudio con el cultivar ‘El Paso Deep Blue’, se demostró que temperaturas medias diarias de 14, 20 y 26 °C, junto con distintos niveles de radiación ($100\text{-}400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), favorecieron un mayor número de hojas, brotes laterales y flores, siendo la temperatura el factor más decisivo (Oh, 2015).

La temperatura base para el crecimiento de diferentes cultivares oscila entre 14 y 15 °C. Valores por debajo de este rango prolongan el ciclo vegetativo y reducen la floración (Domínguez Salvador & Minami, 2004). En general, temperaturas diurnas de 20-24 °C y nocturnas de 16-18 °C son las más adecuadas para la elongación de tallos y el desarrollo floral, mientras que valores excesivos en etapas iniciales pueden inducir el fenómeno de “rosetting” o formación de roseta (PetalBackFarm, s.f.).

2.4.2 Altitud, microclima y ventilación

Paradiso et al. (2009) observaron que una diferencia moderada entre temperaturas diurnas y nocturnas promueve un mayor grosor del tallo y una mejor apertura floral.

Aunque no existe un rango altitudinal fijo, los mejores resultados se han reportado en zonas templadas de altitud intermedia, donde se combinan temperaturas moderadas y buena ventilación. En ambientes protegidos, una ventilación adecuada es esencial para reducir la humedad interna y prevenir enfermedades como *Botrytis*, favoreciendo una mejor calidad del tallo (Murakami Seed Co, 2023).

2.4.3 Fotoperíodo e intensidad luminosa

Desde la perspectiva del fotoperíodo, en Italia se demostró que extender el día natural hasta 18 horas mediante iluminación suplementaria (con lámparas de sodio de alta presión) adelantó la floración de dos cultivares de *lisianthus*, reduciendo el tiempo hasta el florecimiento en hasta 19 días en uno de ellos, además de disminuir la longitud del tallo (Paradiso, Fiorenza & De Pascale, 2008).

En Taiwán se usó una estrategia de “night-break” (interrupción del periodo nocturno) con lámparas de descarga de mercurio (HID), aplicando luz a baja intensidad ($13.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ durante 4 h) al final de la noche. Este tratamiento mejoró la altura de la planta, incrementó la ramificación y aceleró la floración en cultivars como ‘Tiramisu’ y ‘Echo Blue’, especialmente durante períodos con baja luz natural (Chen & Tsai, 2015).

En cuanto a la intensidad de luz, Bai y Jiang (2019) evaluaron diferentes porcentajes de luz natural (100 %, 85 %, 70 % y 55 %) y duraciones de iluminación (hasta 16 horas con suplementación LED) en *lisianthus* ‘Lucetta’. Encontraron que una intensidad del 85% de luz natural (equivalente a aproximadamente 40,000-50,000 lux) con un fotoperíodo de 14-16 h resultó óptima para el crecimiento: las plantas crecieron más rápido, florecieron antes, produjeron más flores y mostraron tallos más gruesos y robustos, sin presentar el fenómeno de roseta.

2.4.4 Sustrato y propiedades físicas del suelo

El medio de cultivo es un elemento clave para el éxito productivo, ya que influye en la aireación, retención de agua y disponibilidad de nutrientes. Un experimento realizado en Brasil evidenció que los mejores resultados se obtienen en sustratos con densidades aparentes de $0.75\text{-}0.95 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, porosidades totales de 72-75 %, espacios de aire de 12-19 %, y agua disponible de 19-26 % (Domínguez Salvador & Minami, 2004).

Estos valores reflejan la necesidad de sustratos ligeros, bien drenados y con adecuada retención hídrica. Los materiales más utilizados son turba, perlita, corteza de eucalipto y arena, en proporciones que aseguren humedad constante sin encharcamiento. En cuanto al pH, se recomienda un rango de 6.0 a 6.5, óptimo para la absorción de nutrientes esenciales (Murakami Seed Co, 2025).

2.4.5 Manejo hídrico y salinidad

El *lisianthus* presenta una tolerancia moderada a la salinidad, por lo que el control del riego y la calidad del agua son factores determinantes. Según Valdez-Aguilar et al. (2013), el cultivo debe mantenerse en condiciones de humedad constante, evitando tanto la saturación como la sequía. Una conductividad eléctrica elevada en el sustrato puede afectar la calidad de los tallos y flores, reduciendo su valor comercial.

Durante la etapa de germinación, se recomienda una humedad relativa superior al 90 %, que debe disminuir gradualmente conforme avanza el crecimiento vegetativo, para fortalecer tejidos y prevenir enfermedades fúngicas (Murakami Seed Co, 2025).

2.4.6 Requerimientos nutricionales y fertilización

Un estudio de Castillo-González et al. (2017) sobre *E. grandiflorum* cv. «Mariachi Pink» determinó la extracción nutrimental total en distintas etapas fenológicas: en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ se registraron 2.4 de nitrógeno (N), 0.46 de fósforo (P), 3.3 de potasio (K), 0.8 de calcio (Ca) y 1.0 de magnesio (Mg). El orden de extracción fue $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P}$ (Castillo-González et al., 2017). Esta información sugiere que K es el macronutriente más demandado por planta en esta especie ornamental bajo las condiciones del estudio.

Respecto al nitrógeno, Flores-Pérez et al. (2018) evaluaron concentraciones en *E. grandiflorum* cv. ABC2 Lavender y establecieron que la mejor respuesta vegetativa, floración y peso seco se obtuvo con $6 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ de N; modelos de curvatura sugerían un rango de suficiencia entre 6.4 y $7.4 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$, asociado a 1.5-1.7% de N en tejido de parte aérea. Concentraciones menores o mayores a ese rango redujeron crecimiento y calidad. (Flores-Pérez et al., 2018).

En fertilización foliar, Cruz-Crespo et al. (2020) trabajaron con *E. grandiflorum* 'Flamenco Purple' y compararon tratamientos foliares. El tratamiento con Humifert® a $20 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ aumentó la longitud del tallo en ~ 16 % frente al control; mientras que $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNO}_3$ incrementó la vida en florero en 2.8 días sobre el testigo. Estos resultados muestran que la fertilización foliar puede ser eficaz para mejorar la calidad comercial del cultivo. (Cruz-Crespo et al., 2020).

Otro aspecto relevante es la fertilización con calcio en condiciones de alcalinidad: en un experimento con riego alto en HCO_3^- , se demostró que la adición suplementaria de Ca mejoró la tolerancia de *E. grandiflorum* frente a la alcalinidad del agua, lo que indica que el Ca no solo actúa como nutriente estructural sino como amortiguador de estrés inorgánico (HortScience, 2014) (Kalinowski & Dole, 2014).

2.5 Manejo agronómico

2.5.1 Propagación

La propagación del lisianthus se lleva a cabo a partir de semillas de variedades híbridas F1. La etapa de germinación resulta especialmente crítica, ya que temperaturas superiores a 25 °C pueden provocar el arrosetamiento de las plántulas, lo que retrasa, e incluso puede impedir, el desarrollo del tallo floral (Ávila y Pereyra, 2015).

De acuerdo con Ávila y Pereyra (2015), existen dos aspectos fundamentales a considerar en esta etapa. El primero es garantizar que la plántula cuente con una calidad fisiológica, sanitaria y genética adecuada. Una plántula vigorosa, con al menos cuatro pares de hojas, presenta menor probabilidad de arrosetamiento y asegura mayor uniformidad en el crecimiento y la floración. El segundo aspecto se relaciona con la elección de la variedad y el color, los cuales deben seleccionarse en función de la demanda del mercado; entre las opciones más utilizadas se encuentran las series ABC, Echo, Mariachi, Borealis y Escalibur.

En términos de manejo, se recomienda un espaciamiento de 10 × 15 cm, procurando que la distribución favorezca la circulación del aire y reduzca la incidencia de enfermedades (Ávila y Pereyra, 2015). El cultivo debe establecerse en invernadero y, durante los primeros diez días después del trasplante, requiere alta humedad y sombreado, evitando que el suelo llegue a secarse por completo. Asimismo, Hanks (2014) señala que la densidad de plantación bajo condiciones de invernadero debe ser de aproximadamente 64 plantas por m² en invierno, aumentando a un rango de entre 84 y 96 plantas por m² durante el verano.

2.5.2 Riego

Según Sakata (2011), el lisianthus es un cultivo originario de zonas con baja humedad, la presencia de *Botrytis* representa un problema relevante en su producción. Para disminuir la humedad relativa del ambiente, se recomienda el uso de riego por goteo, e incluso la instalación de las mangueras a una profundidad de 2 a 3 pulgadas cuando el cultivo se establece directamente en suelo, lo que además favorece un desarrollo radicular más profundo. En la etapa de plántula, el rango óptimo de pH se encuentra entre 6.0 y 6.5, con una conductividad eléctrica (CE) de 0.7 a 1.0 dS·m⁻¹. Una vez que el cultivo se establece en camas, el pH requerido tiende hacia valores ligeramente alcalinos, entre 6.8 y 7.2, mientras que la CE adecuada se sitúa entre 0.9 y 1.3 dS·m⁻¹ (Sakata, 2011).

2.5.3 Control de plagas y enfermedades

Una de las plagas más frecuentes en el cultivo de lisianthus es el fungus gnat (*Basidysia spp.*), cuyas larvas se alimentan de las raíces, generando daños que limitan el desarrollo de la planta (Harbaugh, 2007). Si no se controla oportunamente, puede provocar pérdidas severas en plántulas, por lo que resulta fundamental mantener un monitoreo constante (Harbaugh, 2007).

De igual forma, otras plagas que afectan de manera importante al cultivo son la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), los pulgones (*Myzus persicae* y *Aphis gossypii*), el gusano soldado (*Spodoptera exigua*), además de los trips (*Thrips palmi* y *Frankliniella occidentalis*), el minador de hojas (*Liriomyza trifolii*) y especies del género *Heliotis* (Harbaugh, 2007; Espinoza-Flores et al., 2009).

En cuanto a las enfermedades, el lisianthus puede presentar problemas como moho gris (*Botrytis cinerea*), mancha foliar causada por *Curvularia*, pudrición de corona y tallo por *Fusarium* o *Rhizoctonia*, pudrición radicular por *Pythium spp.*, así como infecciones virales como la mancha necrótica de Impatiens (INSV). Este cultivo es especialmente vulnerable a pudriciones en raíz, tallo y corona, ocasionadas principalmente por diferentes especies de *Fusarium*. Entre ellas, *Fusarium avenaceum* y *Fusarium oxysporum* han generado pérdidas considerables en la producción de flores de corte, mientras que en plantas de cama cultivadas en campo abierto la mayor sensibilidad se observa frente a *Fusarium solani* (Harbaugh, 2007).

2.5.4 Cosecha y postcosecha

El lisianthus debe cosecharse cuando dos o tres flores del tallo han iniciado la apertura, ya que un corte demasiado temprano puede impedir que los botones florales terminales lleguen a abrirse completamente, reduciendo así su valor ornamental y atractivo comercial. Por el contrario, si la cosecha se realiza cuando existe un número excesivo de flores abiertas, se incrementa el riesgo de daños mecánicos durante el manejo y transporte, además de ocasionar una disminución considerable en la vida útil en florero (Melgares de Aguilar, 1996).

La recolección del lisianthus se recomienda durante las horas más frescas del día, cuando dos o tres flores comienzan a abrirse. Posteriormente, los tallos deben colocarse inmediatamente en agua para prevenir la deshidratación, retirando las hojas inferiores antes de almacenarlos en soluciones con conservadores florales. El almacenamiento debe realizarse a temperaturas cercanas a 4 °C, ya que esta condición contribuye a prolongar la vida en florero (Sakata, 2012).

Asimismo, es fundamental evitar la presencia y acumulación de gases de combustión provenientes de motores o sistemas de calefacción, tanto en el invernadero como en las cámaras de almacenamiento y durante el transporte. Dichos gases favorecen la producción de etileno, lo que acelera la senescencia floral. De igual manera, es indispensable mantener el cultivo libre de residuos vegetales dañados o enfermos para reducir el deterioro de la calidad postcosecha (Chachín et al., 2002).

2.6 Problemáticas que presenta el cultivo de lisianthus en su producción

2.6.1 Riego, salinidad y calidad del agua

Valdez-Aguilar et al., (2013) evaluaron el efecto del riego con distintas soluciones salinas en cultivos en sustrato arenoso de Lisianthus “Pure White” y reportaron que el mejor crecimiento se obtuvo con una conductividad eléctrica (CE) de 2 dS·m⁻¹, aunque se lograron tallos florales comercialmente aceptables hasta 7 dS·m⁻¹. Los cultivares “Echo Blue” soportaron hasta 6 dS·m⁻¹, mientras que “Pure White” toleró hasta 8 dS·m⁻¹ en condiciones específicas.

En un estudio posterior, Valdez-Aguilar et al., (2014) mostraron que la composición iónica del agua afecta la acumulación de iones en tejido vegetal y las relaciones iónicas en *Lisianthus*, lo que tiene implicaciones en la nutrición mineral del cultivo bajo riego salino.

Adicionalmente, Ashrafi (2018) determinó que niveles crecientes de salinidad reducen parámetros de crecimiento, contenido de agua relativa, pigmentos fotosintéticos y características de intercambio gaseoso, mientras aumentan la masa fresca de raíces, la relación raíz/parte aérea, la fuga eléctrica y el contenido de malondialdehído, lo cual denota estrés oxidativo.

En un estudio se reportó que en *Lisianthus*, cuando la salinidad se aplica desde la aparición de botones florales, niveles de $6.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ permitieron incrementar peso del tallo y número de flores por tallo en algunos casos (Shillo, 2002).

Estos resultados muestran que *Lisianthus* tiene una tolerancia moderada a la salinidad, pero el manejo del riego (frecuencia, volumen, drenaje y monitoreo de CE) es determinante para no comprometer la calidad floral.

2.6.2 Nutrición y desequilibrios

La nutrición equilibrada es crítica en *Lisianthus*, especialmente en nitrógeno, potasio y calcio. Un exceso de nitrógeno puede inducir alargamiento débil y reducción de calidad, mientras que deficiencias de calcio favorecen tejidos blandos y mayor susceptibilidad a enfermedades. En la literatura se señala además que el uso de aguas con iones dominantes sodio/cloruro puede desequilibrar nutrientes menores como hierro y potasio si no se contrarresta con calcio suplementario (Valdez-Aguilar et al., 2013; Valdez-Aguilar et al., 2014).

2.6.3 Patógenos del sustrato y del follaje

Fusarium solani es una de las principales amenazas en el cultivo de *Lisianthus*, induce podredumbre radicular, marchitez y pérdidas cuantiosas. Onozaki et al., (2020) evaluaron 29 cultivares de *Lisianthus* e identificaron diferencias sustanciales en resistencia a aislamientos de *F. solani*, con cultivares como “Papillon Pink Flash” mostrando alta resistencia, mientras otros presentaron susceptibilidad.

Así mismo, Wolcan et al., (2001) reportaron por primera vez que *F. solani* causa “stunting” en *Lisianthus*, manifestado por plantas atrofiadas, internudos cortos, hojas pequeñas y, en casos graves, muerte varios meses después del trasplante.

Zhou et al., (2019) propusieron estrategias de desinfección microbiana del suelo (desinfección reductiva del suelo) como alternativa de manejo para reducir la incidencia de fusariosis en *Lisianthus*.

Además, estudios agronómicos indican que especies como *Fusarium avenaceum* y *Fusarium oxysporum* pueden causar pudriciones de corona, tallo o marchitez (Geiser, 2007).

2.6.4 Factores ambientales: temperatura, rosetting y estructura del sustrato

La temperatura elevada durante fases tempranas puede inducir el fenómeno de “rosetting”, en el cual las plantas no elongan adecuadamente y quedan en forma de roseta de hojas, reduciendo la emisión de tallos comerciales. Esta respuesta es una manifestación de estrés ambiental que interactúa con las características genéticas del cultivar. (Sakata, 2022).

La estructura del sustrato y su aireación también influyen fuertemente en el desarrollo radicular y en la incidencia de enfermedades. Un sustrato con porosidad adecuada, buen drenaje y pH controlado minimiza acumulaciones de humedad estancada y favorece un ambiente menos propicio para patógenos. Las guías de cultivo técnico de obtentores de *Lisianthus* recomiendan mezclas con turba, perlita, corteza y arena para optimizar estas condiciones (Sakata, 2022).

2.7 Nutrición vegetal y elementos esenciales

2.7.1 ¿Qué es la nutrición vegetal?

La nutrición vegetal es una rama fundamental de la fisiología vegetal que estudia la absorción, asimilación y utilización de los elementos minerales indispensables para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Marschner, 2012). Este proceso abarca la captación de nutrientes del suelo o de soluciones nutritivas, su transporte a través de los tejidos y su incorporación en procesos metabólicos esenciales, como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la formación de estructuras celulares (Epstein & Bloom, 2005).

El objetivo de la nutrición vegetal es garantizar que las plantas reciban una proporción equilibrada de elementos esenciales, los cuales se dividen en macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, molibdeno, cloro y níquel), cada uno con funciones específicas en el metabolismo (Hawkesford et al., 2012). Por ello, el nitrógeno es crucial en la formación de aminoácidos y clorofila, mientras que el fósforo participa en la transferencia de energía (ATP) y el potasio regula la apertura estomática y la turgencia celular (Taiz et al., 2017).

El estudio de la nutrición vegetal también considera factores externos como el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico, la textura y las condiciones edafoclimáticas, los cuales determinan la disponibilidad de nutrientes para las raíces (Mengel & Kirkby, 2001). En este sentido, la deficiencia o el exceso de elementos puede alterar la fisiología de las plantas, reduciendo el rendimiento y la calidad de la producción agrícola (Marschner, 2012).

En la actualidad, la nutrición vegetal no solo se centra en suplir los requerimientos básicos de las plantas, sino también en optimizar la eficiencia del uso de nutrientes mediante el empleo de biofertilizantes, microorganismos benéficos y elementos emergentes como el silicio (Si), selenio (Se) o cobalto (Co), que, aunque no esenciales en sentido estricto, han mostrado efectos positivos sobre la tolerancia al estrés abiótico y la sanidad vegetal (White & Brown, 2010; Pilon-Smits et al., 2017).

2.7.2 Principios generales

La nutrición vegetal se fundamenta en una serie de principios que explican cómo las plantas absorben, transportan y utilizan los elementos minerales indispensables para su desarrollo. Estos principios son esenciales para comprender la fisiología del crecimiento y establecer estrategias de manejo nutricional eficientes en la agricultura moderna (Marschner, 2012).

Toda planta requiere una disponibilidad adecuada de nutrientes esenciales para completar su ciclo biológico. Según Epstein et al. (2005), un elemento se considera esencial cuando su ausencia impide el desarrollo normal de la planta o no puede ser sustituido por otro. Los nutrientes se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, según la cantidad requerida, pero ambos grupos son igualmente necesarios para mantener las funciones vitales.

El segundo principio establece que los nutrientes deben encontrarse en formas químicamente asimilables, lo que depende de la naturaleza del suelo, el pH, la temperatura y la actividad microbiana (Mengel & Kirkby, 2001).

Por ejemplo, el fósforo puede estar presente en el suelo, pero su disponibilidad disminuye en condiciones ácidas o alcalinas, limitando su absorción por las raíces (Taiz et al., 2017).

Otro principio fundamental es la interacción entre los elementos minerales. La presencia excesiva de un nutriente puede interferir con la absorción de otro, fenómeno conocido como antagonismo iónico. Así, altos niveles de potasio pueden inhibir la captación de magnesio y calcio, afectando la síntesis de clorofila y la estructura de las membranas celulares (Hawkesford et al., 2012).

Además, la absorción de nutrientes depende de la actividad fisiológica de las raíces. La zona de pelos radicales es la principal responsable del intercambio iónico con la solución del suelo, proceso que ocurre mediante mecanismos activos o pasivos, según el gradiente electroquímico y la energía disponible en la planta (Epstein & Bloom, 2005).

Los principios de la nutrición vegetal también reconocen la importancia del equilibrio entre nutrientes, ya que un exceso o deficiencia puede provocar desequilibrios fisiológicos. Este concepto de “balance nutricional” ha sido ampliamente estudiado para optimizar la eficiencia del uso de fertilizantes y reducir los impactos ambientales derivados del exceso de nutrientes (White & Brown, 2010).

2.7.3 Elementos esenciales

La nutrición mineral de las plantas comprende un conjunto de elementos indispensables para su crecimiento, desarrollo y reproducción. Estos elementos se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, según la cantidad requerida por el vegetal, aunque ambos grupos son igualmente esenciales para la fisiología y metabolismo celular (Taiz et al., 2017).

2.8 Macronutrientes

2.8.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un componente esencial de aminoácidos, proteínas y clorofila; su presencia favorece el crecimiento vegetativo, la formación de hojas y tallos vigorosos, así como una coloración verde intensa. Sin embargo, tanto el déficit como el exceso de este elemento

afectan negativamente la floración y la firmeza de los tejidos florales (Valdez-Aguilar & Reed, 2010).

2.8.2 Fósforo (P)

El fósforo participa en la transferencia de energía (ATP), en la formación de ácidos nucleicos y en la inducción floral. Su disponibilidad promueve un sistema radicular bien desarrollado y una floración uniforme, mientras que su deficiencia ocasiona retraso en el crecimiento y disminución en la producción de botones (Kuehny & Branch, 2000).

2.8.3 Potasio (K)

El potasio regula la apertura estomática, la osmorregulación celular y la síntesis de carbohidratos. También contribuye a la resistencia frente al estrés hídrico y mejora la calidad poscosecha de flores de corte, incrementando la durabilidad y firmeza del tallo (Taiz et al., 2017).

2.8.4 Calcio (Ca)

El calcio cumple una función estructural en la pared celular, manteniendo la integridad de las membranas plasmáticas y regulando la división y elongación celular. Su deficiencia se manifiesta en necrosis apical y deformaciones en hojas jóvenes (Marschner, 2012).

2.8.5 Magnesio (Mg)

El magnesio forma parte central de la molécula de clorofila y es esencial en la activación enzimática y la síntesis de compuestos orgánicos. La carencia de magnesio genera clorosis internerval y reducción de la fotosíntesis (Epstein & Bloom, 2005).

2.8.6 Azufre (S)

El azufre se incorpora en aminoácidos como cisteína y metionina, además de intervenir en la síntesis de vitaminas y coenzimas. Su deficiencia se asocia con amarillamiento generalizado de las hojas jóvenes y un desarrollo limitado de los tejidos florales (Hawkesford et al., 2012).

2.9 Micronutrientes

2.9.1 Hierro (Fe)

El hierro participa en la síntesis de clorofila y en la transferencia de electrones durante la fotosíntesis. Su deficiencia causa clorosis intervenal en hojas jóvenes, un problema común en suelos alcalinos (Marschner, 2012).

2.9.2 Manganeseo (Mn)

El manganeso actúa como cofactor en enzimas relacionadas con la fotólisis del agua en el fotosistema II y en la síntesis de lignina. La deficiencia de Mn reduce la eficiencia fotosintética y puede ocasionar manchas necróticas (Taiz et al., 2017).

2.9.3 Zinc (Zn)

El zinc es esencial en la síntesis de auxinas y en la estabilidad estructural de proteínas. Su ausencia limita el crecimiento apical y causa entrenudos cortos (Alloway, 2008).

2.9.4 Cobre (Cu)

El cobre forma parte de enzimas oxidativas, como la polifenoloxidasas, y contribuye a la lignificación de los tejidos. La carencia de este elemento se traduce en marchitez de hojas jóvenes y pérdida de turgencia (Marschner, 2012).

2.9.5 Boro (B)

El boro desempeña un papel clave en la división celular y en la integridad de la pared celular. Su deficiencia produce deformaciones en brotes y flores, además de afectar el desarrollo del polen (Shorrocks, 1997).

2.9.6 Molibdeno (Mo)

El molibdeno interviene en la reducción de nitratos y en la fijación biológica de nitrógeno. Una deficiencia severa de este micronutriente provoca acumulación de nitratos y clorosis generalizada (Hawkesford et al., 2012).

2.9.7 Cloro (Cl)

Finalmente, el cloro es necesario para el equilibrio osmótico y la fotólisis del agua durante la fotosíntesis. Aunque su deficiencia es rara, niveles excesivos pueden causar toxicidad y necrosis foliar (Taiz et al., 2017).

La nutrición vegetal ejerce una influencia determinante sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. El suministro equilibrado de nutrientes esenciales favorece el crecimiento vegetativo, la formación de tallos florales de mayor longitud y la apertura uniforme de las flores, mientras que los desequilibrios nutricionales pueden comprometer tanto la productividad como la vida postcosecha (Valdez-Aguilar et al., 2013).

2.10 Elementos esenciales en ornamentales

El nitrógeno (N) es uno de los elementos más relevantes en la fisiología de los ornamentales, ya que promueve la síntesis de proteínas, la expansión foliar y el desarrollo de tallos robustos. Sin embargo, un exceso de este nutriente puede inducir tejidos más blandos y susceptibles a patógenos, además de afectar la firmeza del tallo y la duración en florero (Hernández-Pérez et al., 2021). Por el contrario, un déficit de nitrógeno se asocia con clorosis foliar y reducción del número de botones florales, lo que disminuye el valor comercial del cultivo (Valdez-Aguilar & Reed, 2010).

El fósforo (P) interviene en la formación de raíces, el almacenamiento de energía y la inducción floral, siendo esencial en las etapas iniciales de desarrollo. Una adecuada disponibilidad de este elemento estimula una floración temprana y homogénea, mientras que su deficiencia retrasa la emisión de botones y reduce la producción total de tallos (Kuehny & Branch, 2000).

Por su parte, el potasio (K) regula la apertura estomática, mejora la turgencia celular y fortalece los tejidos florales, aumentando la resistencia al estrés hídrico y prolongando la vida postcosecha (Taiz et al., 2017).

Entre los micronutrientes, el hierro (Fe) y el zinc (Zn) destacan por su papel en la síntesis de clorofila y enzimas antioxidantes. Su deficiencia afecta la coloración foliar y la fotosíntesis, reduciendo la calidad estética del producto (Marschner, 2012).

Asimismo, elementos benéficos como el silicio (Si) y el selenio (Se) han mostrado efectos positivos en la fisiología de *Eustoma grandiflorum*. Investigaciones recientes evidencian que el selenio mejora la actividad de enzimas antioxidantes y retrasa la senescencia floral, lo que

se traduce en una mayor vida en florero (Lu et al., 2022). De igual forma, el silicio fortalece las paredes celulares y aumenta la tolerancia al estrés biótico y abiótico, mejorando la firmeza del tallo y la resistencia al marchitamiento (Savvas & Ntatsi, 2015).

El balance nutricional también incide directamente en la vida postcosecha, un indicador crucial en flores de corte. Estudios realizados por Dole y Kalinowski (2024) señalan que las plantas cultivadas con un manejo nutricional adecuado presentan menor susceptibilidad a la deshidratación y una mejor respuesta a los tratamientos de conservación. Esto se debe a que un tejido bien nutrido mantiene una estructura vascular funcional, permitiendo una absorción más eficiente de soluciones preservantes y reduciendo la obstrucción de vasos xilemáticos.

2.11 Elementos benéficos

2.11.1 Definición y diferenciación de esenciales

Los elementos esenciales se definen como aquellos cuya ausencia impide el desarrollo normal de la planta o provoca una alteración específica en su metabolismo (Epstein & Bloom, 2005). En cambio, los elementos benéficos no son requeridos universalmente por todas las especies vegetales, pero mejoran funciones fisiológicas, incrementan la eficiencia en la absorción de nutrientes y fortalecen la respuesta frente a condiciones adversas (Broadley et al., 2012).

El silicio (Si) no es considerado esencial en sentido estricto, pero ha demostrado reforzar la estructura de los tejidos, aumentar la resistencia mecánica y reducir la incidencia de enfermedades fúngicas en numerosos cultivos hortícolas y ornamentales, incluido *Eustoma grandiflorum* (Savvas & Ntatsi, 2015). De igual modo, el selenio (Se), en dosis adecuadas, actúa como antioxidante, retrasando la senescencia y prolongando la vida poscosecha en flores de corte (Lu et al., 2022).

2.11.2 Importancia fisiológica y agronómica

Desde el punto de vista fisiológico, los elementos benéficos estimulan la síntesis de compuestos antioxidantes, regulan la expresión génica y mejoran la integridad celular, especialmente bajo estrés abiótico como salinidad, déficit hídrico o exceso de radiación (Mora et al., 2015). Por otro lado, el silicio se deposita en la pared celular y fortalece las

estructuras epidérmicas, reduciendo la transpiración y mejorando la eficiencia del uso del agua (Savvas & Ntatsi, 2015).

El selenio, además de su papel antioxidante, incrementa la actividad enzimática y puede modular la expresión de genes asociados con la defensa contra patógenos, contribuyendo a la estabilidad fisiológica del cultivo (Malagoli et al., 2015). Por su parte, el cobalto (Co) participa en la síntesis de vitamina B₁₂ y en la fijación biológica del nitrógeno en especies que forman simbiosis con microorganismos, mejorando la disponibilidad de este nutriente en el suelo (Broadley et al., 2012).

En el ámbito agronómico, la aplicación controlada de estos elementos ha demostrado incrementar la productividad, la calidad comercial y la vida útil de los productos agrícolas. En ornamentales como *Eustoma grandiflorum*, su inclusión en programas de fertilización complementaria puede favorecer tallos más firmes, pétalos de mejor coloración y una mayor tolerancia al transporte y almacenamiento (Hernández-Pérez et al., 2021).

2.12 Elementos benéficos emergentes y su impacto en cultivos

2.12.1 Selenio (Se)

El selenio, aunque tradicionalmente considerado más en nutrición animal y humana, ha emergido como un elemento de interés para la agricultura debido a sus efectos positivos en las plantas. En niveles bajos, el selenio actúa como antioxidante, mejora la tolerancia al estrés salino, hídrico y lumínico, y puede reducir la absorción de metales tóxicos. (Majchrowicz et al., 2019).

Por ejemplo, en arroz (*Oryza sativa*) se observó que la aplicación de selenio (Se) mitigó la toxicidad del vanadio, incrementando el peso seco de brotes y raíces, y mejorando pigmentos y defensa antioxidante (Yuan et al., 2024). También se ha documentado que la biofortificación de cultivos con Se mejora no sólo la productividad vegetal sino el perfil nutricional para el consumo humano, contribuyendo a un enfoque de “una salud” (Bill et al., 2023)

No obstante, su margen entre beneficio y toxicidad es estrecho, por lo que dosis, forma química (selenato, selenito, etc) y método de aplicación deben manejarse cuidadosamente (Majchrowicz et al., 2019).

2.12.2 Cobalto (Co)

El cobalto ha sido más reconocido por su papel en la fijación de nitrógeno en leguminosas (como parte de la vitamina B12 en los microorganismos simbiotes), pero recientes estudios muestran que también puede actuar como microelemento benéfico en otros cultivos. En un análisis crítico se propone que el Co podría considerarse un micronutriente potencial para plantas, si bien no se ha determinado formalmente su esencialidad para todas las especies (Taylor, 2023)

2.12.3 Yodo (I)

El yodo es un halógeno que tradicionalmente ha sido más relevante en la nutrición humana, pero investigaciones recientes sugieren que puede actuar también como elemento beneficioso para plantas, mejorando crecimiento, metabolismo nitrogenado, fotosíntesis, tolerancia a estrés abiótico y calidad del fruto o tallo (Holwerda et al., 2023).

Un estudio realizado en tomates bajo cultivo protegido demostró que la aplicación foliar de KIO_3 a 100 μM incrementó la producción de frutos en ~23 % bajo salinidad, además de mejoras en N y Fe en hojas (pero no en los frutos) (Fernández, 2022).

2.12.4 Silicio (Si)

El silicio, aunque no se clasifica formalmente como esencial para todas las especies, está ampliamente reconocido como un elemento benéfico que mejora la resistencia al estrés abiótico (salinidad, sequía, metal-tóxico), fortalece paredes celulares, mejora la absorción y distribución de nutrientes, y promueve la eficiencia fotosintética (Kim et al., 2021).

2.12.5 Levaduras / Extractos de levadura

Los extractos de levadura (ricos en aminoácidos, oligosacáridos, minerales, vitaminas y fitohormonas) han ganado atención como bioestimulantes naturales que promueven el crecimiento, mejoran la tolerancia al estrés y elevan la calidad del cultivo. En una revisión sobre plantas expuestas a déficit hídrico, el uso de extracto de levadura foliar aumentó pigmentos fotosintéticos, actividad antioxidante, contenido fenólico y rendimiento de biomasa (Al-Moneim et al., 2025).

2.12.6 Influencia de las levaduras en la agricultura

El empleo de levaduras en la agricultura ha adquirido relevancia en los últimos años debido a su capacidad para actuar como biofertilizantes, bioestimulantes y moduladores fisiológicos en diversos cultivos. Se ha demostrado que las levaduras, particularmente *Saccharomyces cerevisiae*, pueden mejorar parámetros agronómicos clave mediante la liberación de vitaminas, aminoácidos, enzimas, péptidos y compuestos que actúan como promotores del crecimiento vegetal. Un estudio reciente evidenció que el uso de levaduras residuales de la industria cervecera incrementó la biomasa y el desarrollo radicular de plántulas hortícolas, lo que resalta su potencial como insumo en sistemas sostenibles y de economía circular (Vargas et al., 2024).

Además de mejorar el crecimiento vegetativo, diferentes investigaciones han demostrado que extractos de levadura pueden incrementar la tolerancia al estrés abiótico. En condiciones de salinidad, la aplicación de extracto activo de *S. cerevisiae* en plantas de lupino promovió la acumulación de clorofila, aumentó la actividad enzimática antioxidante y mejoró la productividad, atribuyéndose estos efectos al contenido de compuestos bioactivos presentes en la levadura (Selem et al., 2023). Estos resultados indican que la levadura no solo provee nutrientes, sino que también activa rutas metabólicas asociadas a la defensa vegetal.

En cuanto a la modulación fisiológica, se ha documentado que el tratamiento de semillas o plantas con derivados de levadura puede activar mecanismos de tolerancia y optimizar la absorción de nutrientes. Un análisis reciente mostró que extractos de levadura aplicados en arroz regulan rutas de homeostasis bajo condiciones de deficiencia nutricional, mientras que en cítricos incrementan el rendimiento y mejoran la calidad del fruto gracias a la acción conjunta de compuestos orgánicos y señales bioquímicas generadas por la levadura (Agamy et al., 2023).

La aplicación agrícola de levaduras también se encuentra respaldada por desarrollos comerciales. Empresas biotecnológicas han formulado productos a base de levaduras, tales como autolisados y extractos purificados, que han demostrado mejorar el rendimiento en colza, vid y cucurbitáceas mediante el aumento de la actividad fotosintética y el vigor general de las plantas (Agrauxine, 2024).

Así mismo, estudios en cultivos hidropónicos han comprobado que subproductos de *S. cerevisiae* actúan como promotores del crecimiento radicular y aéreo, incluso sin la presencia

de suelo, lo que amplía su aplicabilidad a sistemas de producción intensivos y ornamentales (Mestre et al., 2024).

2.12.7 Características de *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae es una levadura unicelular eucariota ampliamente usada por su fiabilidad, versatilidad y relevancia en biología molecular, biotecnología y producción industrial. Este organismo ha sido fundamental para avances en genética, ciclo celular y respuesta al daño del ADN debido a su facilidad de manipulación genética, su genoma completamente secuenciado y la conservación de muchos mecanismos celulares con organismos superiores (Kramer & Spencer, 2022).

Desde el punto de vista morfológico, *S. cerevisiae* presenta células ovaladas o esféricas, con un diámetro típico que oscila entre 4 y 5 μm , y se reproduce principalmente por gemación. Algunas cepas muestran formas más variables (cilíndricas o elípticas) y pueden tener un crecimiento dimórfico, especialmente bajo ciertas condiciones ambientales. (Riaño et al., 2010).

Metabólicamente, esta levadura es capaz de alternar entre un metabolismo respiratorio (aerobio) y un metabolismo fermentativo. En presencia de oxígeno, sule energía mediante respiración, mientras que en condiciones anaerobias realiza fermentación alcohólica, convirtiendo azúcares en etanol y dióxido de carbono a través de la glucólisis y decarboxilación del piruvato (Riaño et al., 2010).

Una característica destacable de *S. cerevisiae* es su tolerancia a múltiples condiciones de estrés, especialmente en ambientes de fermentación. Estudios en cepas industriales muestran que esta levadura puede resistir altas concentraciones de etanol gracias a la rigidez de su pared celular, lo que la convierte en una de las más utilizadas en fermentación alcohólica (Casas-Acevedo et al., 2015).

En términos evolutivos y fisiológicos, *S. cerevisiae* puede agruparse en agregados celulares (“facultative multicellularity”), lo que le permite responder a limitaciones nutricionales, envejecimiento y entornos estructurados mediante la formación de grupos celulares cooperativos. Este fenómeno ha sido estudiado como un modelo para comprender mecanismos de cooperación microbiana y diversidad fenotípica (Ratcliff et al., 2020).

Otra ventaja clave de *S. cerevisiae* es su papel como modelo en estudios de biología celular. Gracias a su sistema de tráfico de membranas altamente caracterizado, ha permitido descubrir y analizar rutas de secreción, endocitosis y reciclaje de proteínas, muchas de las cuales están conservadas en células de mamíferos (Feyder, De Craene & Friant, 2018).

También es notable por su uso seguro y extendido en la industria de alimentos y bebidas, así como en aplicaciones biotecnológicas como la producción de etanol, proteína recombinante y probióticos. Además, algunas cepas son usadas como suplemento nutricional, dado su contenido de vitaminas del complejo B, aminoácidos y minerales, lo que la convierte en una herramienta versátil tanto en ciencia básica como aplicada (Coronel & Valdez, 2018).

2.12.8 Rol de estos elementos en el metabolismo vegetal

Los elementos benéficos desempeñan un papel clave en la regulación del metabolismo vegetal, al participar en procesos fisiológicos que optimizan la eficiencia metabólica, el crecimiento estructural y la tolerancia frente a condiciones ambientales adversas. Aunque no todos son considerados esenciales, su presencia en concentraciones adecuadas favorece el equilibrio fisiológico y mejora la productividad de los cultivos, entre ellos el *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*). (Mora et al., 2015).

2.12.9 Influencia en el metabolismo vegetal

El silicio (Si) se acumula en los tejidos epidérmicos y forma una capa de sílice amorfa que refuerza las paredes celulares, reduciendo la pérdida de agua y el ingreso de patógenos (Savvas & Ntatsi, 2015). Además, estimula la actividad enzimática relacionada con el metabolismo del carbono y del nitrógeno, mejorando la eficiencia fotosintética y el balance energético (Epstein, 1999). En ornamentales como *Eustoma grandiflorum*, la suplementación con silicio ha mostrado mejoras notables en la firmeza de tallos y la durabilidad poscosecha (Valdez-Aguilar et al., 2013).

El selenio (Se), por su parte, actúa como antioxidante natural al intervenir en la detoxificación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Este elemento incrementa la expresión de enzimas antioxidantes como el superóxido dismutasa y el glutatión peroxidasa, protegiendo las membranas celulares del estrés oxidativo (Malagoli et al., 2015). En flores de *lisianthus*, la

aplicación foliar de selenito de sodio ha demostrado prolongar la vida en florero y retardar la senescencia floral mediante una menor degradación de clorofila y lípidos (Lu et al., 2022).

El cobalto (Co) participa indirectamente en el metabolismo vegetal al formar parte de la estructura de la vitamina B₁₂, esencial para la fijación biológica del nitrógeno en sistemas simbióticos. Su presencia mejora la eficiencia en el uso del nitrógeno y promueve un crecimiento más vigoroso en etapas tempranas de desarrollo (Broadley et al., 2012).

El yodo (I), aunque normalmente no es considerado esencial, cumple funciones hormonales y antioxidantes en bajas concentraciones. Investigaciones recientes indican que puede estimular la síntesis de compuestos fenólicos y aumentar la tolerancia al estrés salino y térmico, favoreciendo la estabilidad metabólica (Kiferle et al., 2021).

2.12.10 Efectos en crecimiento, desarrollo y resistencia al estrés

Los efectos positivos de los elementos benéficos sobre el crecimiento vegetal se asocian principalmente con su capacidad para regular el balance osmótico, la actividad enzimática y la integridad estructural de las células (Marschner, 2012). Bajo condiciones de estrés abiótico, como salinidad, sequía o temperaturas extremas, elementos como el Si y el Se contribuyen a mantener la homeostasis iónica, evitando el daño oxidativo y mejorando la capacidad de recuperación del tejido vegetal (Mora et al., 2015).

En *Eustoma grandiflorum*, la integración de estos elementos en la nutrición ha resultado en plantas más vigorosas, con mayor número de flores por tallo y mejor calidad estética, atributos esenciales para su valor ornamental (Hernández-Pérez et al., 2021). Además, el fortalecimiento de los mecanismos antioxidantes y la mejora del transporte de agua y nutrientes repercuten directamente en la vida útil en postcosecha (Dole & Kalinowski, 2024). En conjunto, los elementos benéficos no solo actúan como moduladores del metabolismo vegetal, sino que también incrementan la eficiencia fisiológica y la resiliencia del cultivo.

2.12.11 Uso en sistemas agrícolas y producción ornamental

La incorporación de elementos benéficos en los sistemas agrícolas y en la producción de ornamentales representa una estrategia innovadora para mejorar la eficiencia fisiológica, la calidad de los productos y la sostenibilidad del manejo nutricional. A diferencia de los

elementos esenciales, los benéficos como el silicio (Si), selenio (Se), cobalto (Co), yodo (I) y las levaduras como bioestimulantes no son imprescindibles para el crecimiento básico de las plantas, pero su aplicación en dosis adecuadas optimiza procesos metabólicos y refuerza la tolerancia frente a factores de estrés abióticos y bióticos (Broadley et al., 2012; Mora et al., 2015).

En los sistemas agrícolas modernos, la integración de estos elementos se ha orientado hacia el mejoramiento de la eficiencia del uso de nutrientes y del rendimiento de los cultivos. El silicio ha sido ampliamente utilizado en cultivos hortícolas y cereales debido a su capacidad para incrementar la fotosíntesis, la rigidez estructural y la resistencia a enfermedades (Savvas & Ntatsi, 2015). Su inclusión en soluciones nutritivas o mediante enmiendas al suelo ha demostrado reducir el estrés por salinidad y sequía, aumentando la productividad en condiciones limitantes (Epstein, 1999; Liang et al., 2015).

El selenio, aplicado en concentraciones bajas, se emplea como biofortificante y antioxidante natural, promoviendo una mayor calidad nutricional y poscosecha en vegetales y frutos (Malagoli et al., 2015). Su uso controlado también contribuye a reducir la toxicidad por metales pesados y a activar mecanismos antioxidantes, lo que beneficia la fisiología general del cultivo (Hasanuzzaman et al., 2020).

Por su parte, el cobalto y el yodo se emplean en sistemas agrícolas especializados por sus efectos estimulantes sobre la síntesis de compuestos fenólicos y hormonales, además de favorecer la simbiosis microbiana y la absorción de nitrógeno (Kiferle et al., 2021; Pilon-Smits et al., 2009). Estos efectos, aunque sutiles, contribuyen al desarrollo más vigoroso de las plantas y a una mayor resiliencia frente a condiciones ambientales adversas.

El uso de bioestimulantes a base de levaduras ha cobrado importancia por su origen natural y multifuncionalidad. Las levaduras proporcionan aminoácidos, vitaminas y metabolitos secundarios que estimulan la actividad microbiana del suelo y mejoran la estructura radicular, favoreciendo una mejor absorción de agua y nutrientes (Russo & Berlyn, 1990; du Jardin, 2015).

2.12.12 Empleo en la producción ornamental

En la floricultura y producción ornamental, los elementos benéficos han demostrado ser herramientas valiosas para potenciar la calidad estética, prolongar la vida poscosecha y

aumentar la resistencia al estrés. En el caso del *lisianthus*, la aplicación de silicio se ha asociado con tallos más firmes, hojas de mayor turgencia y flores con mejor apertura, lo que incrementa su valor comercial (Valdez-Aguilar et al., 2013). Además, el selenio ha mostrado prolongar la vida en florero al disminuir la producción de etileno y retardar la senescencia floral (Lu et al., 2022).

El manejo con levaduras y otros bioestimulantes naturales en cultivos ornamentales también contribuye a una floración más uniforme, raíces más robustas y una respuesta positiva frente a estrés hídrico o térmico, sin alterar la fisiología normal de la planta (Hernández-Pérez et al., 2021). Estos beneficios son particularmente relevantes en sistemas intensivos de producción en invernadero, donde el control del ambiente y la nutrición es determinante para obtener flores de calidad exportable.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 Ubicación del experimento

El estudio se efectuó en las instalaciones del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), situada en Saltillo, Coahuila, México. El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel con tecnología intermedia y cubierta

de polietileno, manteniéndose condiciones ambientales controladas durante el periodo comprendido de julio 2024 a enero de 2025.

3.1.2 Establecimiento del experimento

Como material vegetal se utilizaron plántulas de *lisianthus* correspondientes a la variedad *Advantaje 3 Pink* (Ball Akiko®). El trasplante se efectuó en macetas con capacidad de 4 L, las cuales contenían un sustrato compuesto por turba y perlita en proporción 1:1. Dicho sustrato presentó una porosidad de aire cercana al 25 %, una retención de humedad del 60 % y una porosidad total estimada en 85 %.

La disposición de las plantas se estableció con una distancia de 20 cm entre individuos y 50 cm entre hileras. En cada evento de riego se aplicó solución nutritiva formulada según Steiner (1961), manteniendo aproximadamente un 30 % de drenaje. La concentración nutrimental se ajustó al 80 % durante la fase vegetativa y se incrementó al 100 % en los periodos de formación de brotes y floración. La conductividad eléctrica de la solución se controló dentro del intervalo de 1.6 a 2.0 mS cm⁻¹, mientras que el pH se reguló entre 5.8 y 6.0.

Las condiciones ambientales dentro del invernadero registraron temperaturas máximas de 32 °C, mínimas de 12 °C y un promedio de 22 °C. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar.

3.1.3 Descripción de los tratamientos

Se evaluaron 21 tratamientos en total, cada uno conformado por cuatro repeticiones con dos plantas por unidad experimental, obteniéndose así 84 unidades experimentales.

Para el suministro de los elementos benéficos se utilizaron las siguientes fuentes vía foliar: Na₂SeO₃ como aportación de selenio (reactivos GOLDEN BELL), CoSO₄ como fuente de cobalto (Jalmek), KIO₃ como fuente de yodo (Jalmek), dióxido de silicio al 92 % (Diatomix®) y extracto de levadura (EL) proveniente de *Saccharomyces cerevisiae* (Nevada®). Los tratamientos se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Dosis aplicadas de elementos benéficos y levadura vía foliar en *lisianthus*.

Descripción	Tratamientos	Dosis
Testigo	T0	Sin aplicar

Selenio	T1	1 ppm
Selenio	T2	2 ppm
Selenio	T3	4 ppm
Selenio	T4	8 ppm
Cobalto	T5	3 ppm
Cobalto	T6	6 ppm
Cobalto	T7	12 ppm
Cobalto	T8	24 ppm
Yodo	T9	5 ppm
Yodo	T10	10 ppm
Yodo	T11	20 ppm
Yodo	T12	40 ppm
Silicio	T13	0.5 g ⁻¹
Silicio	T14	1 g/L ⁻¹
Silicio	T15	2 g/L ⁻¹
Silicio	T16	4 g/L ⁻¹
Levadura	T17	3 g/L ⁻¹
Levadura	T18	6 g/L ⁻¹
Levadura	T19	12 g/L ⁻¹
Levadura	T20	24 g/L ⁻¹

3.2 Variables evaluadas

3.2.1 Altura

La altura de la planta se evaluó mediante medición directa, empleando un flexómetro de precisión con una longitud máxima de 5 m (Figura 1). La medición se realizó una vez finalizada la aplicación de los tratamientos, seleccionando los tallos florales con mayor desarrollo en el momento en que inició la apertura del primer botón floral. El registro se efectuó tomando como referencia la distancia desde el punto de unión del tallo principal con el sustrato hasta el extremo del brote floral de mayor longitud, respetando siempre la orientación vertical natural de la planta. Los valores obtenidos se expresaron en centímetros (cm) y fueron registrados individualmente en la tabla de datos.



Figura 1. Medición de altura de planta en lisianthus

3.2.2 Diámetro de tallo

El diámetro del tallo se determinó mediante medición directa utilizando un vernier digital de precisión, lo que permitió asegurar la confiabilidad y consistencia de los datos obtenidos (Figura 2). La lectura se realizó en la sección media de cada tallo, evitando áreas cercanas a los nudos o al punto de inserción basal, con el fin de obtener un valor representativo de la estructura del tallo. Las mediciones se efectuaron de manera individual en cada unidad experimental y los resultados se expresaron en milímetros (mm).



Figura 2. Medición de diámetro de tallos de lisianthus

3.2.3 Número de hojas

El número de hojas se evaluó como una variable cuantitativa mediante el conteo manual de las hojas presentes en cada planta, considerando únicamente aquellas que presentaron un desarrollo completo y un tamaño promedio representativo (Figura 3). Durante el proceso se descartaron las hojas primarias o basales que sobresalían y correspondían a tejido en crecimiento activo. El registro se realizó de manera individual al momento del corte de cada tallo en las unidades experimentales, y los datos obtenidos se expresaron como número de hojas por planta, anotándose sistemáticamente en la tabla de datos para llevar un mejor control.

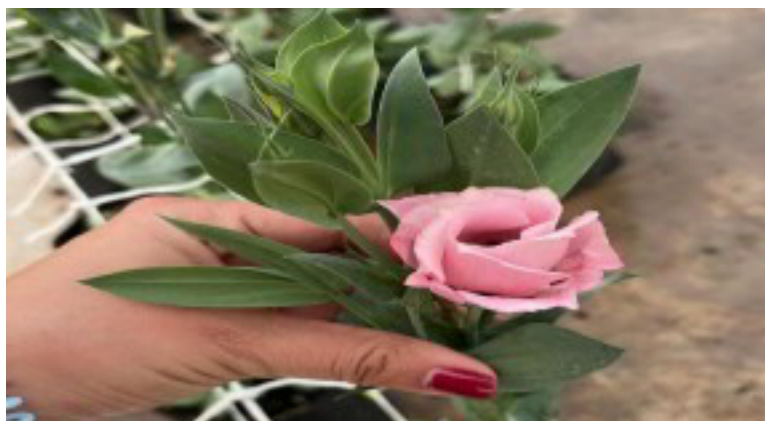


Figura 3. Conteo manual de hojas de lisianthus

3.2.4 Largo de hojas

El largo de la hoja se evaluó mediante medición directa, considerando hojas completamente desarrolladas y representativas de cada planta (Figura 4). La medición se realizó desde la base del pecíolo hasta el extremo distal del limbo foliar, empleando un flexómetro de precisión. Las evaluaciones se efectuaron de manera individual en cada unidad experimental y los valores obtenidos se expresaron en centímetros (cm).



Figura 4. Medición de largo de hoja de lisianthus

3.2.5 Ancho de hojas

Esta variable se determinó mediante medición directa en hojas con desarrollo completo, seleccionadas de forma representativa en cada planta. La lectura se efectuó en la parte media del limbo foliar, en su punto de mayor amplitud, utilizando un flexómetro de precisión (Figura 5). Las mediciones se realizaron de manera individual por unidad experimental y los resultados se expresaron en centímetros (cm), anotándose de forma ordenada en la tabla de datos.



Figura 5. Medición de ancho de hoja de lisianthus

3.2.6 Número de botones florales

La cuantificación de los botones florales se realizó mediante el recuento del total de estructuras florales desarrolladas en cada planta. En la evaluación individual se incluyeron únicamente aquellos botones que presentaron un tamaño homogéneo y un estado de desarrollo adecuado para su cosecha, identificados por la formación completa de la corola y la presencia de señales iniciales de apertura (Figura 6). El registro se efectuó en cada tallo floral correspondiente a las unidades experimentales, anotando el número total de botones en unidades dentro de la tabla de datos diaria.



Figura 6. Conteo manual de botones florales de lisianthus

3.2.7 Peso fresco de la flor

Esta variable se determinó mediante el corte de la inflorescencia a la altura de la base del pedúnculo, separándola del tallo principal con el fin de obtener su masa individual (Figura 7). Inmediatamente después del corte, cada flor fue pesada utilizando una balanza digital de precisión marca Steren, previamente calibrada para asegurar la exactitud de las mediciones. Los valores obtenidos se expresaron en gramos (g) y correspondieron al peso fresco de cada flor evaluada.



Figura 7. Medición de peso fresco de flores de lisianthus

3.2.8 Peso seco de la flor

El peso seco de la flor se determinó a partir de las flores previamente utilizadas para la evaluación del peso fresco. Estas se colocaron en bolsas de papel y se sometieron a un proceso de secado en estufa de aire forzado a una temperatura constante de 65 °C, hasta alcanzar peso constant (Figura 8). Una vez finalizado el secado, las muestras se pesaron utilizando una balanza digital de precisión, previamente calibrada. Los valores obtenidos se expresaron en gramos (g) y correspondieron al peso seco individual de cada flor, registrándose de manera ordenada.

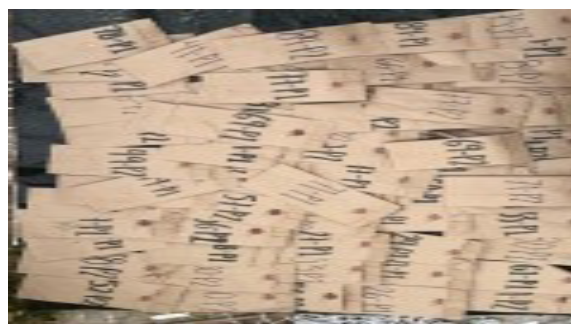


Figura 8. Medición de peso seco de flores de lisianthus

3.2.9 Peso seco de la planta

El peso seco de la planta se obtuvo considerando el material vegetal completo correspondiente a cada unidad experimental (Figura 9). Las plantas fueron colocadas en bolsas de papel debidamente identificadas y deshidratadas en una estufa de aire hasta alcanzar peso constante. Posteriormente, el material seco se pesó en una balanza digital de precisión, asegurando la confiabilidad de los datos. Los resultados se expresaron en gramos (g).



Figura 9. Medición de peso seco de tallos de lisianthus

3.2.10 Diámetro ecuatorial

El diámetro ecuatorial de la flor se evaluó en flores que se encontraban en estado de apertura total, con el fin de estimar el grado de desarrollo y la homogeneidad del tamaño floral (Figura 10). La medición se realizó determinando la mayor distancia transversal de la corola, correspondiente al punto de máxima amplitud, perpendicular al eje longitudinal de la flor. Para ello, se empleó un vernier digital de precisión marca PA66, previamente calibrado para asegurar la confiabilidad de las lecturas. Los valores obtenidos se expresaron en milímetros (mm) y se registró una medición individual por flor en cada tallo de las unidades experimentales.

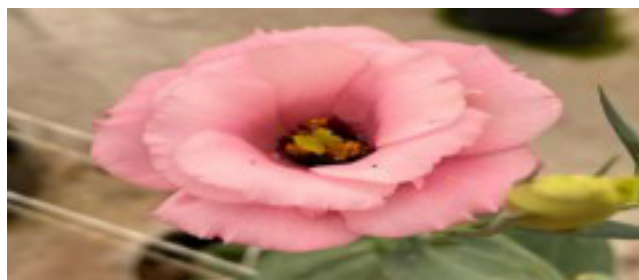


Figura 10. Medición de diámetro ecuatorial de lisianthus

3.2.11 Diámetro polar

La variable se evaluó mediante la medición de la distancia vertical comprendida entre la base del cáliz y el extremo superior de la corola, lo cual corresponde a la longitud longitudinal del órgano floral. Durante la medición, las flores completamente abiertas se colocaron cuidadosamente en posición vertical, evitando cualquier presión o deformación de los pétalos que pudiera afectar la exactitud del registro (Figura 11). Para la obtención de los datos se utilizó un vernier digital de precisión previamente calibrado. Los valores obtenidos se expresaron en milímetros (mm) y se registraron de manera individual.



Figura 11. Medición de diámetro polar de lisianthus

3.2.12 Longitud del pedúnculo

La longitud del pedúnculo se determinó mediante medición directa utilizando un vernier digital de precisión, previamente calibrado. La evaluación se realizó en pedúnculos completamente desarrollados y representativos de cada flor, midiendo la distancia comprendida desde el punto de inserción del pedúnculo en el tallo floral hasta la base del cáliz (Figura 12). Las mediciones se efectuaron de manera individual en cada unidad experimental y los valores obtenidos se expresaron en milímetros (mm), registrándose de forma ordenada en la bitácora correspondiente.



Figura 12. Medición de longitud de pedúnculo de lisianthus (utilizando vernier digital)

3.2.13 Diámetro del pedúnculo

El diámetro del pedúnculo se evaluó mediante medición directa empleando un vernier digital de precisión, previamente calibrado para asegurar la confiabilidad de los registros. La lectura se realizó en la sección media del pedúnculo, evitando áreas cercanas a la base o al cáliz con el fin de obtener un valor representativo (Figura 13). Las mediciones se realizaron de forma individual para cada flor en las unidades experimentales y los resultados se expresaron en milímetros (mm), anotándose sistemáticamente en la bitácora para su control.



Figura 13. Medición de diámetro del pedúnculo de lisianthus

3.3 Análisis estadísticos de los datos

El análisis estadístico de los datos se realizó previa verificación de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Posteriormente, las variables que cumplieron con dichos supuestos fueron analizadas a través de un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía, mientras que aquellas que no presentaron una distribución normal se evaluaron mediante pruebas estadísticas no paramétricas correspondientes. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, la separación de medias se llevó a cabo utilizando la prueba de rangos múltiples de Duncan, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$. Todos los análisis se efectuaron con el paquete estadístico InfoStat, versión 2020, lo que permitió un manejo adecuado y confiable de la información experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de planta

Los tratamientos evaluados mostraron respuestas contrastantes en altura de planta en comparación con el testigo (67.18 cm), evidenciando efectos dependientes tanto del tipo de elemento benéfico como de la dosis aplicada (Figura 14). Los valores más altos se registraron con silicio a 2 g L⁻¹ (70.03 cm) y 4 g L⁻¹ (70.13 cm), tratamientos estadísticamente superiores al testigo con incrementos de 4.24 y 4.40% respectivamente.

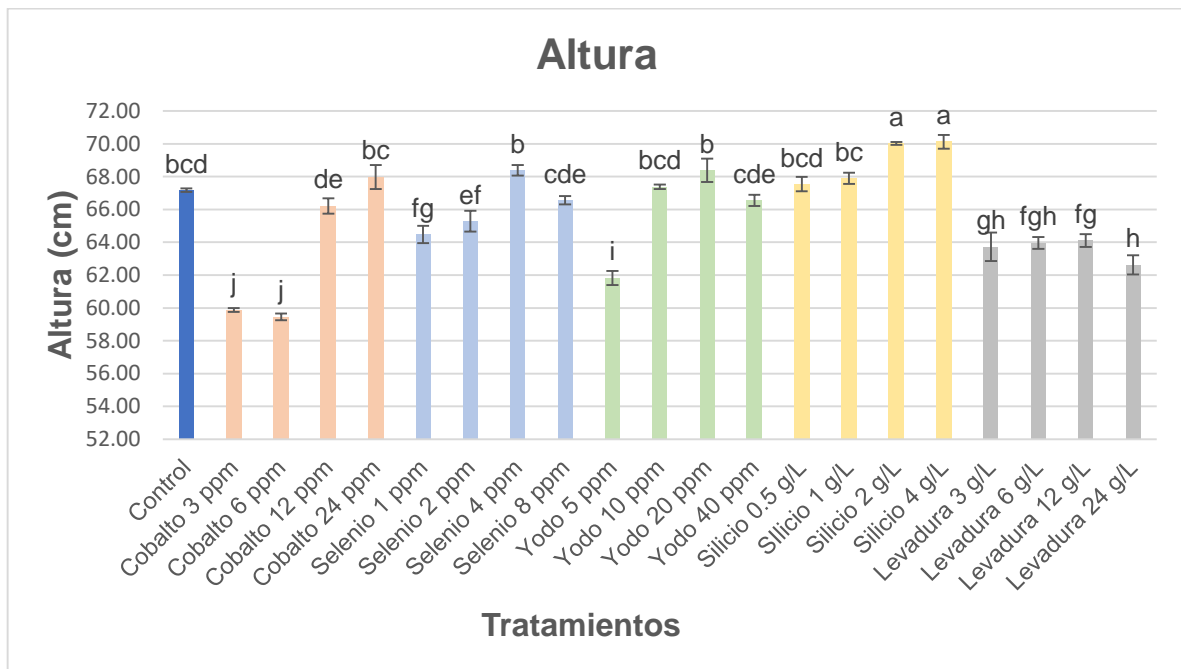


Figura 14. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en la altura del lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

El efecto positivo del silicio sobre la elongación del tallo ha sido ampliamente documentado en especies ornamentales y hortícolas, donde su incorporación se asocia con una mayor rigidez de la pared celular, optimización del uso de agua y mejora del desempeño fotosintético, factores que en conjunto favorecen el crecimiento vegetativo (Dębicz & Wróblewska, 2011).

A nivel fisiológico, el silicio actúa como modulador del estrés abiótico, contribuyendo a la estabilidad del metabolismo primario y al mantenimiento del balance redox, lo cual puede sostener procesos de división y elongación celular incluso en condiciones subóptimas (Epstein, 2009; Sarraf et al., 2023).

En contraste algunos tratamientos mostraron efectos inhibitorios significativos en altura. Las aplicaciones de cobalto a 3 y 6 ppm redujeron la altura en 12.19 %, y 12.99 % respectivamente, mientras que el yodo 5 ppm presentó una disminución de 8.65 %, respecto al control.

Este comportamiento concuerda con la dosis dependiente del cobalto y el yodo en plantas: aunque ambos pueden participar en procesos metabólicos específicos, concentraciones fuera de rangos estrechos pueden alterar la homeostasis celular, inducir desbalances redox y afectar negativamente la elongación del tallo. (Hu et al., 2021; Kiferle et al., 2021).

Los tratamientos con selenio mostraron respuestas intermedias, donde dosis bajas y moderadas (1–4 ppm) mantuvieron valores de altura cercanos al control, mientras que concentraciones mayores tendieron a reducir el crecimiento. Este patrón es consistente con el carácter dual del selenio, el cual puede estimular el crecimiento vegetal a bajas concentraciones mediante la activación de sistemas antioxidantes, pero resultar fitotóxico cuando se supera el umbral fisiológico de tolerancia (Hasanuzzaman et al., 2014).

Por su parte, el extracto de levadura presentó una tendencia general a disminuir la altura de planta conforme aumentó la dosis, lo que sugiere que, bajo las condiciones del presente estudio, su aplicación pudo haber favorecido otros procesos fisiológicos distintos a la elongación, como la diferenciación o la activación metabólica, en detrimento del crecimiento longitudinal. Estudios previos indican que los extractos de levadura pueden actuar como bioestimulantes complejos, ricos en aminoácidos, vitaminas y compuestos señalizadores, cuyos efectos dependen estrechamente de la dosis, la especie y la etapa fenológica (Nardi et al., 2013).

En conjunto, los resultados confirman que el silicio, particularmente en dosis de 2 a 4 g L⁻¹, representa una estrategia efectiva para promover el crecimiento vegetativo en *Lisianthus*, mientras que el uso de cobalto, yodo, selenio y extracto de levadura requiere una optimización más precisa de dosis para evitar efectos inhibitorios sobre la altura de planta.

4.2 Diámetro de tallo

En el diámetro de tallo, los tratamientos evaluados no mostraron diferencias significativas respecto al testigo. Estos resultados indican que, bajo las condiciones del experimento, el engrosamiento del tallo se mantuvo relativamente estable, lo que indica que los bioestimulantes no afectaron en el diámetro del tallo en lisianthus (Figura 15).

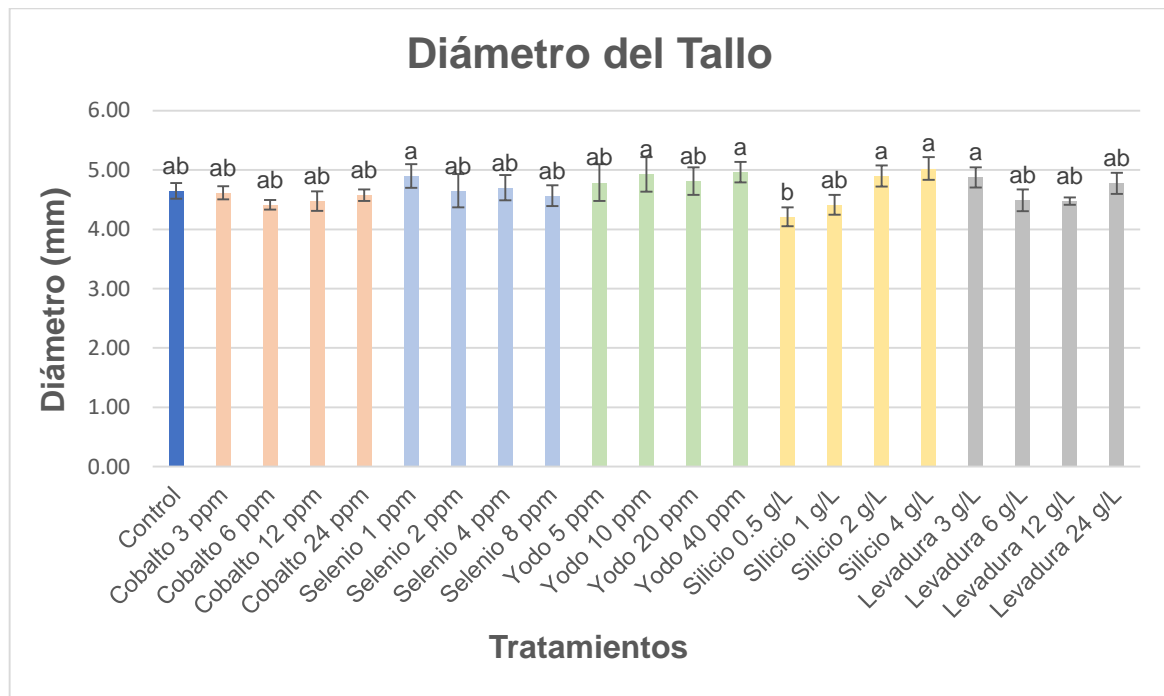


Figura 15. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro del tallo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

El comportamiento observado con silicio coincide con reportes en cultivos ornamentales donde se ha documentado que este elemento puede modificar rasgos estructurales como el grosor del tallo; no obstante, su efecto es altamente dependiente de la especie, el sistema de cultivo y la dosis aplicada, por lo que no siempre se refleja en incrementos estadísticamente significativos (Dębicz & Wróblewska, 2011).

Respecto al yodo, aunque los incrementos observados no fueron estadísticamente diferentes del control, se ha reportado que en tomate (*Solanum lycopersicum*), se ha reportado que aplicaciones moderadas de yodo favorecen el crecimiento vegetativo y ciertos atributos

estructurales, incluyendo el grosor del tallo, al mejorar la eficiencia metabólica y la nutrición vegetal (Medrano-Macías et al., 2016).

De manera similar, en plantas de *Arabidopsis thaliana* se ha demostrado que el yodo, en concentraciones adecuadas, puede influir positivamente en el crecimiento y la acumulación de biomasa, lo que indirectamente se refleja en una mayor robustez de los tejidos de sostén, aunque sin generar siempre diferencias estadísticas marcadas (Kiferle et al., 2021).

Desde el punto de vista fisiológico, el diámetro del tallo está estrechamente relacionado con la división y expansión celular, así como con la deposición de componentes de la pared celular. En este sentido, tanto el silicio como el yodo pueden contribuir a mejorar la estabilidad celular y la eficiencia del metabolismo antioxidante; sin embargo, cuando las concentraciones aplicadas no superan el umbral fisiológico del cultivo, no se observan efectos significativos (Sarraf et al., 2023).

En especies como pimiento (*Capsicum annuum*) y pepino (*Cucumis sativus*), se ha reportado que el diámetro del tallo tiende a mantenerse estable debido a un control anatómico más conservador, priorizando la elongación o la acumulación de biomasa foliar antes que el crecimiento radial (Savvas & Ntatsi, 2015).

Asimismo, en flores de corte como rosa (*Rosa spp*) y gerbera (*Gerbera jamesonii*), se ha documentado que el engrosamiento del tallo responde de manera limitada a la aplicación de micronutrientes, ya que esta característica está fuertemente regulada por factores genéticos y por la etapa fenológica, más que por estímulos externos de tipo nutricional (Radin et al., 2017).

4.3 Número de hojas

Se observaron incrementos estadísticamente superiores en el número de hojas con la mayoría de los tratamientos en comparación con el control, lo que evidencia que esta variable fue altamente sensible a la aplicación de elementos benéficos y bioestimulantes. Los mayores aumentos correspondieron a cobalto 3 ppm (26.83 %), selenio 1 ppm (24.39 %), selenio 8 ppm (21.95 %), yodo 20 (21.95 %) y 40 ppm (19.51 %), seguido de silicio 2 (17.07 %) y 4 g L⁻¹ (19.51 %) y levadura a 3 (12.19 %), 12 (21.95 %) y 24 g L⁻¹ (12.19 %) indicando una

clara estimulación de la emisión foliar y del crecimiento vegetativo cuando estos elementos se aplicaron en concentraciones bajas (Figura 16).

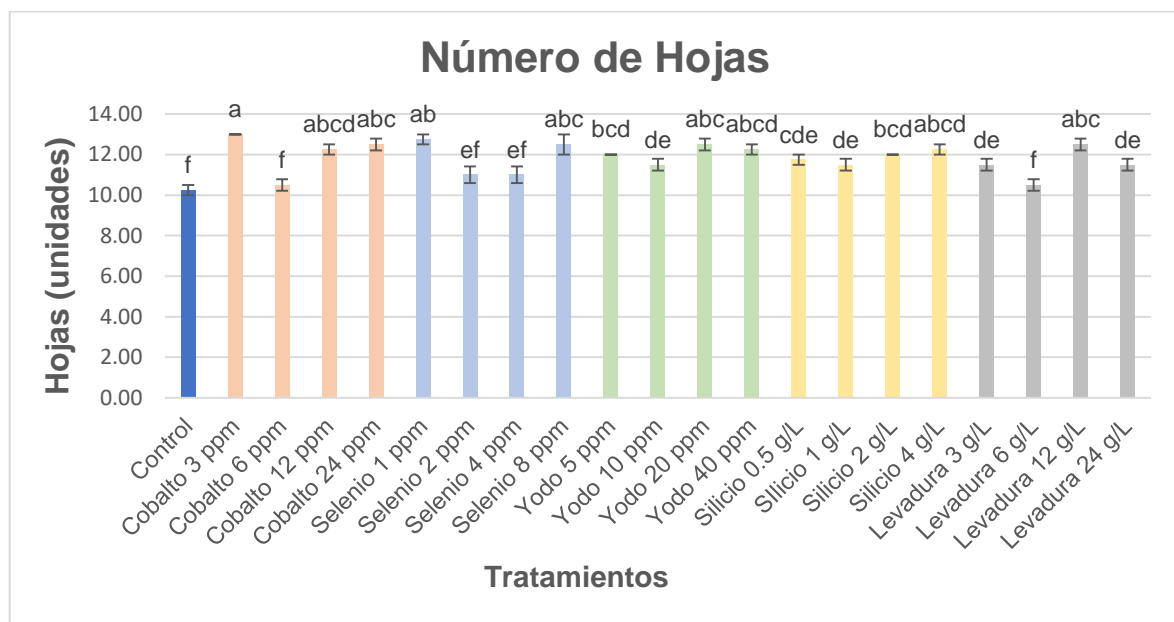


Figura 16. Efecto de la aplicación foliar de elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes sobre el número de hojas en lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

En el caso del cobalto, el incremento observado a dosis bajas concuerda con estudios realizados en otros cultivos, donde se ha señalado que este elemento puede favorecer el crecimiento vegetativo al intervenir indirectamente en la actividad enzimática, la asimilación de nutrientes y la eficiencia fisiológica. Sin embargo, su efecto positivo se limita a rangos estrechos de concentración, ya que dosis no óptimas pueden generar respuestas inhibitorias o incluso fitotoxicidad (Hu et al., 2021).

Respecto al selenio, el incremento registrado a 1 ppm confirma que concentraciones bajas pueden estimular procesos fisiológicos y fortalecer el sistema antioxidante, lo que se traduce en una mayor producción de hojas. En cultivos como berenjena (*Solanum melongena* L.) y trigo (*Triticum spp.*), se ha documentado que dosis bajas de selenio mejoran el crecimiento vegetativo, mientras que concentraciones superiores inducen estrés oxidativo y reducen la

emisión foliar, evidenciando un efecto claramente dosis-dependiente (Bandehagh et al., 2023).

La levadura promovió incrementos importantes en el número de hojas, destacando la dosis de 12 g L⁻¹ (21.95 %), mientras que 3 y 24 g L⁻¹ (12.19 %) mostraron aumentos moderados. Resultados similares han sido reportados en lechuga (*Lactuca sativa*) y zanahoria (*Daucus carota*), donde la aplicación de extractos de levadura incrementó el número de hojas debido a su contenido de aminoácidos, vitaminas y compuestos con actividad tipo fitohormonal que estimulan la división celular (Hernández-Fernández et al., 2021).

En el caso del silicio, se observaron incrementos graduales conforme aumentó la dosis, sobresaliendo 4 g L⁻¹ (19.51 %) y 2 g L⁻¹ (17.07 %). Estos resultados coinciden con estudios en plantas ornamentales y hortícolas, donde el silicio ha demostrado mejorar el crecimiento vegetativo al fortalecer la estructura celular, optimizar la eficiencia fisiológica y aumentar la tolerancia al estrés, lo que favorece una mayor emisión foliar cuando se aplica en concentraciones adecuadas (Dębicz & Wróblewska, 2011).

El yodo mostró incrementos moderados en el número de hojas, particularmente a 20 ppm (21.95 %) y 40 ppm (19.51 %). En otros cultivos, como tomate y *Arabidopsis thaliana*, se ha reportado que el yodo en concentraciones moderadas puede estimular el crecimiento vegetativo al participar en la regulación del metabolismo antioxidante y en la activación de genes asociados a mecanismos de defensa y desarrollo, aunque su efecto también depende de la dosis aplicada (Kiferle et al., 2021).

Por el contrario, cobalto 6 ppm, levadura 6 g L⁻¹ y selenio 2 y 4 ppm fueron igual o similar al control lo que sugiere una respuesta fisiológica limitada o un posible efecto inhibitorio. En otros estudios se ha documentado que concentraciones no óptimas de estos elementos puede generar desbalances metabólicos, incrementar la producción de especies reactivas de oxígeno y restringir la división celular, reduciendo la formación de nuevas hojas (Hu et al., 2021).

Los resultados indican que el número de hojas en *Lisianthus* responde de manera marcadamente dosis-dependiente a la aplicación de elementos benéficos y bioestimulantes. Las concentraciones bajas de cobalto y selenio, así como dosis específicas de levadura, silicio y yodo, fueron las más eficaces para promover esta variable, mientras que concentraciones no adecuadas limitaron la respuesta, resaltando la importancia de un manejo preciso de la dosis para maximizar el crecimiento vegetativo.

4.4 Largo de hoja

En cuanto a la variable largo de hoja los tratamientos mostraron incrementos claros respecto al control los cuales fueron superiores silicio 1 g L⁻¹ (8.37 %), selenio 4 ppm (7.39 %), cobalto 24 ppm (5.09 %), yodo 40 ppm (7.06 %) y silicio 4 g L⁻¹ (5.75 %). Estos resultados indican que, bajo ciertas concentraciones, algunos tratamientos favorecen la expansión longitudinal del limbo, aumentando el potencial de intercepción lumínica (Figura 17).

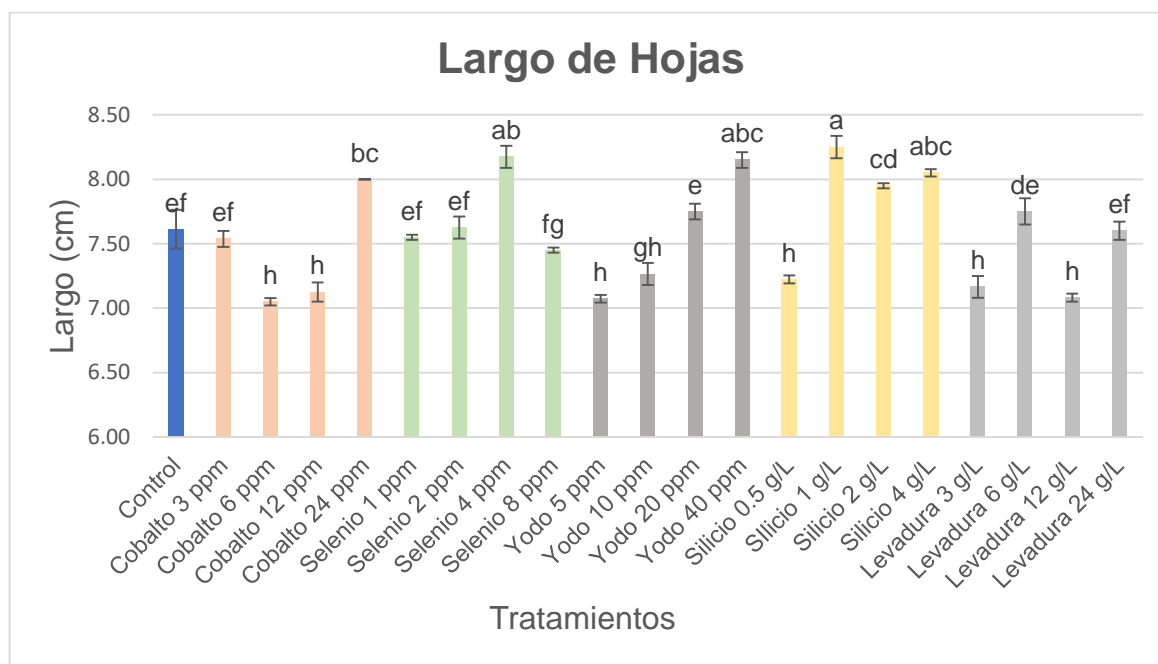


Figura 17. Efecto de la aplicación foliar de elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el largo de hojas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

El comportamiento del silicio es consistente con reportes en ornamentales donde se observa que el aporte de Si puede mejorar rasgos vegetativos al fortalecer estructuras celulares y sostener el crecimiento en condiciones variables, lo que se refleja en hojas con mejor desarrollo morfológico (Debicz & Wróblewska, 2011).

Desde el punto de vista fisiológico, la expansión longitudinal de la hoja depende de turgencia celular, extensibilidad de pared y disponibilidad de carbohidratos. Se ha descrito que el silicio puede contribuir al desempeño fisiológico al modular el estrés y favorecer la estabilidad de

tejidos, lo que facilita que la planta mantenga procesos de crecimiento más eficientes (Sarraf et al., 2023).

En arroz (*Oryza sativa*) y trigo (*Triticum spp.*), aplicaciones adecuadas de silicio incrementaron significativamente el largo y área de hoja, lo que se asoció con una mayor estabilidad estructural del tejido foliar y una mejor eficiencia fotosintética; sin embargo, dichos efectos disminuyeron cuando las dosis superaron el rango óptimo (Ma et al., 2015).

En el caso del selenio, estudios en lechuga (*Lactuca sativa*) y espinaca (*Spinacia oleracea*) han mostrado que concentraciones bajas favorecen la elongación foliar y el crecimiento vegetativo, mientras que concentraciones superiores inducen estrés oxidativo y reducen la expansión del limbo, coincidiendo con el comportamiento observado en el presente estudio (Ríos et al., 2021).

Respecto al cobalto, el incremento observado en el largo de hoja con 24 ppm concuerda con lo reportado en coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), donde dosis moderadas de este micronutriente estimularon el crecimiento vegetativo y la elongación foliar, atribuido a su participación en procesos metabólicos asociados a la síntesis de clorofila y a la activación enzimática (Gad, 2013). No obstante, el mismo autor señala que al superar el rango fisiológicamente adecuado, el cobalto induce efectos tóxicos que limitan la expansión foliar, lo que coincide con las reducciones observadas a concentraciones menores en el presente estudio.

En el caso del yodo, el aumento del largo de hoja observado con 40 ppm es consistente con reportes en tomate (*Solanum lycopersicum*), donde aplicaciones controladas de yodo favorecieron la expansión del limbo y el crecimiento vegetativo, asociado a una mejora en el estado antioxidante y en la eficiencia metabólica de la planta. Sin embargo, se ha documentado que este efecto es altamente dependiente de la dosis y de la especie, pudiendo revertirse cuando se excede el umbral fisiológico (Blasco, 2015).

Algunos tratamientos como cobalto 6 ppm (7.98 %) y yodo 5 ppm (7.63 %) redujeron el largo de hoja frente al control, lo que sugiere una respuesta inhibitoria en expansión foliar. En términos generales, reducciones de este tipo pueden asociarse a estrés metabólico y menor capacidad de expansión celular.

La literatura sobre yodo enfatiza que sus efectos pueden ser benéficos, nulos o negativos según la dosis, debido a su interacción con el metabolismo antioxidante y el crecimiento; esto ayuda a explicar respuestas inhibitorias en ciertas concentraciones. (Medrano-Macías et al., 2016).

Un mecanismo común cuando se excede el umbral fisiológico de estos elementos es el incremento de estrés oxidativo (ROS), lo cual afecta membranas, limita la actividad fotosintética y restringe crecimiento foliar. Esto se ha documentado especialmente bajo estrés por metales como el cobalto, donde se reportan impactos negativos en crecimiento y fisiología por alteraciones oxidativas y fotosintéticas (Salam et al., 2024).

4.5 Ancho de hoja

El silicio presentó un incremento estadísticamente superior al testigo en el ancho de hoja, con un aumento del 41.07 %, yodo 20 ppm, que registró un incremento del 35.5 %, seguido de cobalto 24 ppm (13.13 %), selenio 2 ppm (21.21 %) y levadura 24 g L⁻¹ (14.68) con diferencia estadística respecto al control. Estos resultados indican que tanto el silicio como el yodo, en concentraciones adecuadas, favorecieron de manera importante la expansión lateral del limbo foliar, reflejando una respuesta positiva del crecimiento vegetativo bajo estas condiciones (Figura 18).

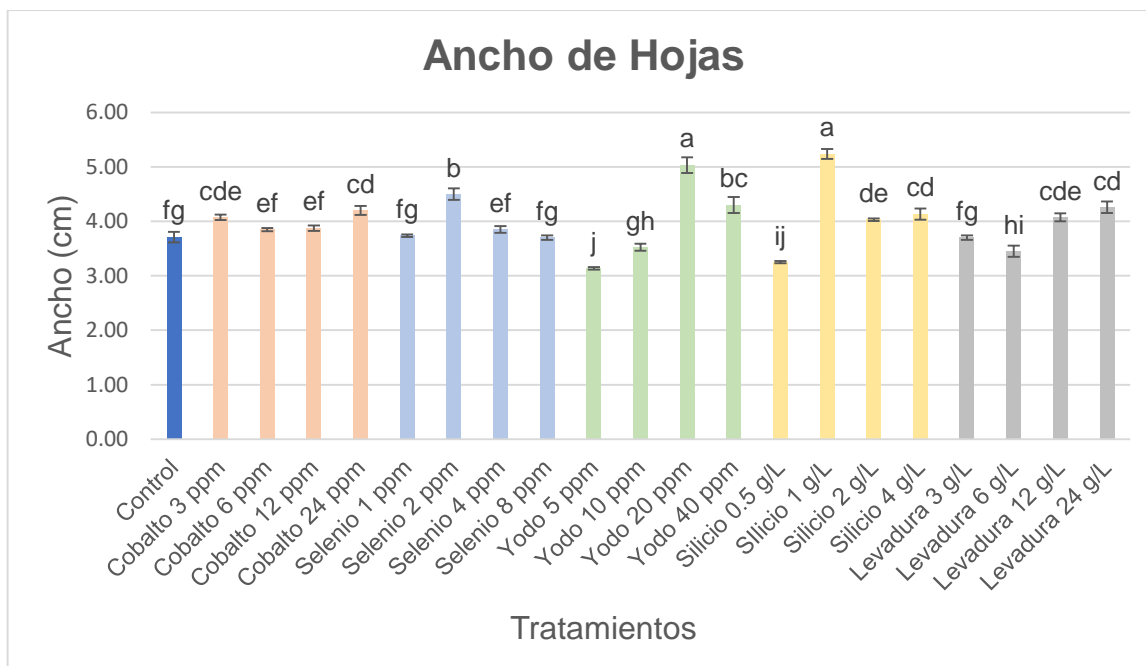


Figura 18. Efecto de la aplicación foliar de elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el ancho de hojas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

La expansión lateral de la hoja está estrechamente relacionada con el estado hídrico, la elasticidad celular y la integridad de la pared celular. En este sentido, se ha descrito que el silicio participa en interacciones con nutrientes esenciales y en la regulación de procesos fisiológicos asociados al mantenimiento estructural de los tejidos, lo que se traduce en modificaciones de la arquitectura foliar, incluyendo un mayor ancho de hoja, como se ha observado en cultivos hortícolas y ornamentales (Pavlović et al., 2021).

En el plano metabólico, el incremento del ancho foliar suele asociarse con una mejora en el balance fuente-demanda, ya que hojas más amplias incrementan la superficie fotosintética y la capacidad de producción de asimilados. Diversos estudios han documentado que el silicio contribuye a mantener la actividad fotosintética, mejorar la eficiencia del uso del agua y retrasar procesos de senescencia, lo que favorece un crecimiento vegetativo más vigoroso, especialmente bajo condiciones de estrés (Kumar, 2025).

El yodo, particularmente a 20 ppm, mostró un efecto positivo comparable al del silicio, lo que concuerda con estudios realizados en otros cultivos donde dosis moderadas de yodo

incrementaron el tamaño foliar y la superficie fotosintética. Este efecto se ha asociado con la activación del metabolismo antioxidante y la regulación de rutas hormonales que favorecen la expansión celular y el desarrollo del limbo foliar (Kiferle et al., 2021).

Por el contrario, yodo 5 ppm presentó una reducción del 18.33 % en el ancho de hoja, evidenciando que concentraciones no óptimas pueden restringir la expansión foliar. Esta respuesta coincide con reportes que indican que el yodo puede ejercer efectos benéficos únicamente dentro de un rango específico de concentración; fuera de este rango, puede inducir estrés oxidativo, acelerar procesos de senescencia y limitar la expansión de los tejidos foliares, como se ha observado en lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Zhang et al., 2023).

El incremento observado con cobalto 24 ppm concuerda con estudios en frijol (*Phaseolus vulgaris*), donde concentraciones moderadas de este micronutriente estimularon la expansión foliar y el crecimiento vegetativo, atribuible a su participación en procesos enzimáticos y en la síntesis de compuestos nitrogenados. El mismo autor reporta que concentraciones inferiores o superiores al rango óptimo reducen el crecimiento foliar, evidenciando su efecto dosis-dependiente (Yadav, 2020).

Respecto al selenio, coincide con observaciones en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), donde concentraciones bajas favorecieron el crecimiento foliar al mejorar el estado antioxidante y la eficiencia metabólica, mientras que dosis más altas provocaron efectos inhibitorios asociados a estrés oxidativo (Hawrylak-Nowak, 2018).

En cuanto a la levadura, el incremento observado con 24 g L⁻¹ es consistente con estudios en pepino (*Cucumis sativus*), donde la aplicación de extractos de levadura estimuló la expansión foliar y el crecimiento vegetativo al aportar compuestos bioactivos, aminoácidos y vitaminas que favorecen la división y expansión celular (Abdel-Aziz, 2019).

Los resultados sugieren que el ancho de hoja es una variable altamente sensible a la dosificación de elementos benéficos. Tanto el silicio como el yodo promovieron la expansión foliar cuando se aplicaron en concentraciones adecuadas, mientras que dosis no óptimas de

yodo limitaron esta respuesta, resaltando la importancia de un manejo preciso para maximizar la eficiencia fotosintética y el crecimiento vegetativo del cultivo.

4.6 Número de botones florales

Los mayores incrementos se observaron con selenio 8 ppm y yodo 10 ppm ambos con 32.78 %, seguido de cobalto 24 ppm (30.01 %) y silicio 4 g L⁻¹ (27.25 %). Por ello, los tratamientos favorecieron el establecimiento de estructuras reproductivas.

La levadura 12 g L⁻¹ (12.97 %), Selenio 1 ppm (6.32 %) y Yodo 40 ppm (7.91 %) redujeron significativamente el número de botones (Figura 19).

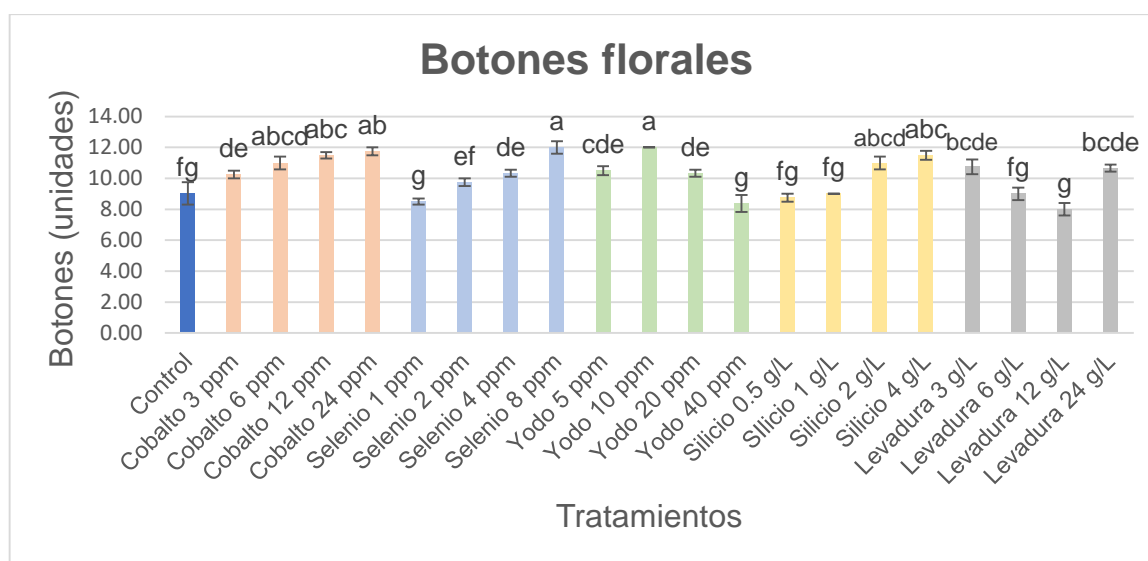


Figura 19. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el número de botones florales de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

La evidencia experimental indica que el selenio puede estimular ciertos parámetros fisiológicos a dosis bajas o moderadas; sin embargo, la respuesta depende de especie y concentración, por lo que el mismo elemento puede volverse restrictivo si se rebasa la tolerancia. (Chen et al., 2022).

En el contexto de la formación de botones florales, este comportamiento se relaciona con la capacidad del selenio para modular el balance redox y la actividad antioxidante, lo que

favorece procesos de diferenciación floral únicamente dentro de rangos óptimos (Hasanuzzaman et al., 2020).

En el caso del yodo, se ha observado que dosis bajas pueden sostener biomasa y adelantar procesos de desarrollo; por ello, el aumento de botones en un rango específico es consistente con una respuesta benéfica. (Kiferle et al., 2021).

Además, se ha propuesto que el yodo puede interactuar con auxinas y citoquininas, favoreciendo la inducción floral cuando se aplica en dosis controladas (Smoleń et al., 2020).

Asimismo, la respuesta observada en esta variable puede explicarse por la interacción de elementos benéficos con el metabolismo del carbono y la partición de asimilados, procesos clave para la iniciación y el mantenimiento de estructuras reproductivas. Cuando estos elementos favorecen la eficiencia fotosintética y reducen el estrés fisiológico, se incrementa la disponibilidad de fotoasimilados destinados a la formación de botones florales; en contraste, concentraciones elevadas pueden alterar el equilibrio metabólico y limitar dicho proceso (Nardi et al., 2016).

De acuerdo a cobalto, el incremento observado con 24 ppm es consistente con estudios realizados en coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), donde concentraciones intermedias de este micronutriente promovieron la formación de estructuras reproductivas al favorecer procesos metabólicos asociados a la síntesis de clorofila y a la actividad enzimática. El cobalto puede actuar como elemento benéfico únicamente dentro de un rango fisiológico estrecho, ya que concentraciones superiores inducen efectos tóxicos que limitan la floración (Gad, 2013).

Respecto al silicio, el aumento en el número de botones florales registrado con 4 g L⁻¹ concuerda con observaciones en arroz (*Oryza sativa*), donde la aplicación de Si incrementó la diferenciación floral y el número de primordios reproductivos, atribuida a una mejora en la eficiencia fotosintética y en la movilización de asimilados hacia los órganos en desarrollo. Este efecto se asocia con la capacidad del silicio para mantener la integridad fisiológica de la planta durante la transición reproductiva (Ma & Yamaji, 2015).

En relación con la levadura, la reducción del número de botones observada con 12 g L⁻¹ coincide con reportes en gladiola (*Gladiolus grandiflorus*), donde extractos de levadura mostraron respuestas contrastantes sobre la floración dependiendo de la dosis aplicada. Se ha

señalado que concentraciones no óptimas pueden alterar el balance metabólico y hormonal, afectando negativamente la inducción floral y la formación de botones (Ibrahim, 2021).

4.7 Peso fresco de flor

Se observaron incrementos porcentuales estadísticamente superiores en el peso fresco de la flor con varios tratamientos en comparación con el control. Los mayores aumentos se registraron con levadura 24 g L⁻¹ (115.07 %) y levadura 3 g L⁻¹ (110.05 %), seguidos por cobalto 24 ppm (82.91 %), yodo 20 ppm (50.05 %), silicio 2 g L⁻¹ (48.74 %), selenio 2 ppm (35.28 %), selenio 4 ppm (31.26 %) y yodo 40 ppm (30.25 %). Estos resultados indican que ciertos bioestimulantes y micronutrientes favorecieron de manera marcada el desarrollo y/o la hidratación del tejido floral, reflejándose en una mayor acumulación de biomasa fresca (Figura 20).

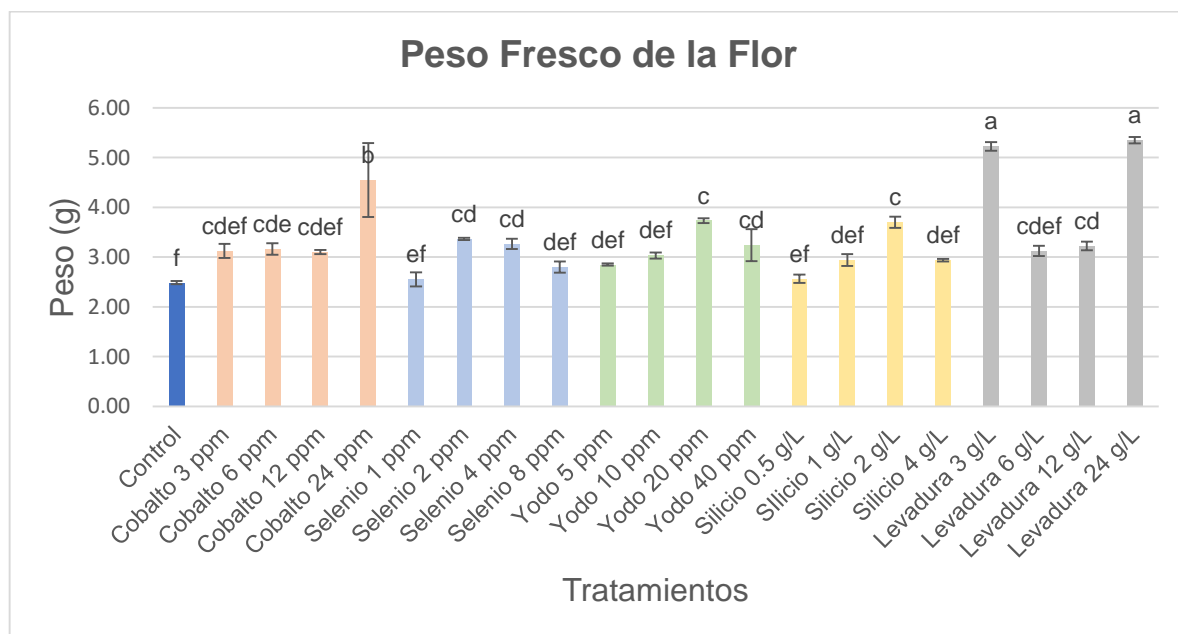


Figura 20. Efecto de los elementos benéficos y levadura como bioestimulantes en el peso fresco de la flor de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

El efecto sobresaliente de la levadura concuerda con estudios realizados en otros cultivos hortícolas y ornamentales, donde se ha reportado que extractos o formulaciones a base de levadura incrementan significativamente el peso fresco de órganos vegetativos y

reproductivos. Este comportamiento se ha asociado con la mejora en la disponibilidad de nutrimentos, la producción de compuestos orgánicos y la estimulación del metabolismo vegetal, lo que favorece la acumulación de agua y biomasa en los tejidos florales (Lonhienne et al., 2014).

Desde un enfoque fisiológico, se ha propuesto que las levaduras pueden liberar aminoácidos, vitaminas del complejo B y sustancias con actividad similar a fitohormonas, las cuales estimulan la expansión celular y mantienen la turgencia de los tejidos. Estos mecanismos explican el incremento pronunciado del peso fresco floral observado con dosis de 3 y 24 g L⁻¹, al sostener procesos de crecimiento activo en el órgano reproductivo (Hernández-Fernández et al., 2021).

En el caso del cobalto, el incremento registrado a 24 ppm sugiere que, en determinadas concentraciones, este elemento puede favorecer la acumulación de biomasa floral. En otros cultivos se ha documentado que el cobalto puede intervenir en procesos metabólicos relacionados con la eficiencia fisiológica y la absorción de agua; sin embargo, su efecto es altamente dependiente de la dosis, ya que rangos elevados pueden resultar fitotóxicos (Hu et al., 2021).

Respecto al yodo, el aumento observado a 20 y 40 ppm concuerda con reportes en tomate (*Solanum lycopersicum*) y *Arabidopsis thaliana*, donde concentraciones moderadas de este elemento incrementaron la biomasa fresca de órganos reproductivos al mejorar la actividad antioxidante y el balance metabólico. Estos efectos favorecen una mayor retención de agua y un desarrollo más eficiente de la flor (Kiferle et al., 2021).

El silicio, particularmente a 2 g L⁻¹, también promovió un incremento notable en el peso fresco de la flor. Estudios en diversos cultivos han señalado que el silicio puede mejorar la estabilidad celular, fortalecer la pared celular y optimizar el estado hídrico del tejido, lo que se traduce en mayor peso fresco, especialmente en órganos de rápido crecimiento como las flores (Verma et al., 2024).

En cuanto al selenio, los incrementos observados en el peso fresco de la flor con 2 y 4 ppm concuerdan con estudios realizados en cultivos hortícolas donde concentraciones bajas de este elemento favorecieron la acumulación de biomasa fresca al mejorar el estado

antioxidante y la eficiencia fisiológica del tejido. En lechuga (*Lactuca sativa*), la aplicación de selenio en dosis reducidas incrementó el contenido hídrico y el peso fresco de hojas y órganos jóvenes, efecto atribuido a una mayor estabilidad de membranas y a una mejor regulación del balance osmótico (Hawrylak-Nowak, 2018).

De manera similar, en tomate (*Solanum lycopersicum*), se ha reportado que el selenio aplicado en concentraciones controladas mejora la retención de agua y el crecimiento de órganos reproductivos, reflejándose en un aumento del peso fresco floral. No obstante, el mismo autor señala que este efecto se pierde cuando se excede el rango fisiológicamente adecuado, ya que el selenio puede inducir estrés oxidativo y alterar la homeostasis celular, lo que explica las respuestas limitadas observadas con concentraciones no óptimas (Hawrylak-Nowak, 2018).

Por el contrario, algunos tratamientos se ubicaron por debajo o cercanos al control, destacando selenio 1 ppm, silicio 0.5 g L⁻¹ y yodo 5 ppm, los cuales mostraron respuestas limitadas en el peso fresco floral. Estas reducciones pueden atribuirse a que concentraciones no óptimas inducen desbalances metabólicos o un incremento del estrés oxidativo, restringiendo la expansión celular y la acumulación de agua en el tejido floral (Bandehagh et al., 2023).

4.8 Peso seco de la flor

Se observaron incrementos marcados con tratamientos como: silicio 4 g L⁻¹ (52.33 %), seguido de levadura 6 g L⁻¹ (50.26 %), silicio 2 g L⁻¹ (49.22 %), levadura 24 g L⁻¹ (48.19 %), levadura 3 g L⁻¹ (47.15 %), selenio 4 ppm (45.59 %) y cobalto 3 ppm (12.95 %). Estos resultados indican una mayor acumulación real de biomasa floral (sin el efecto del agua) en tratamientos específicos (Figura 21).

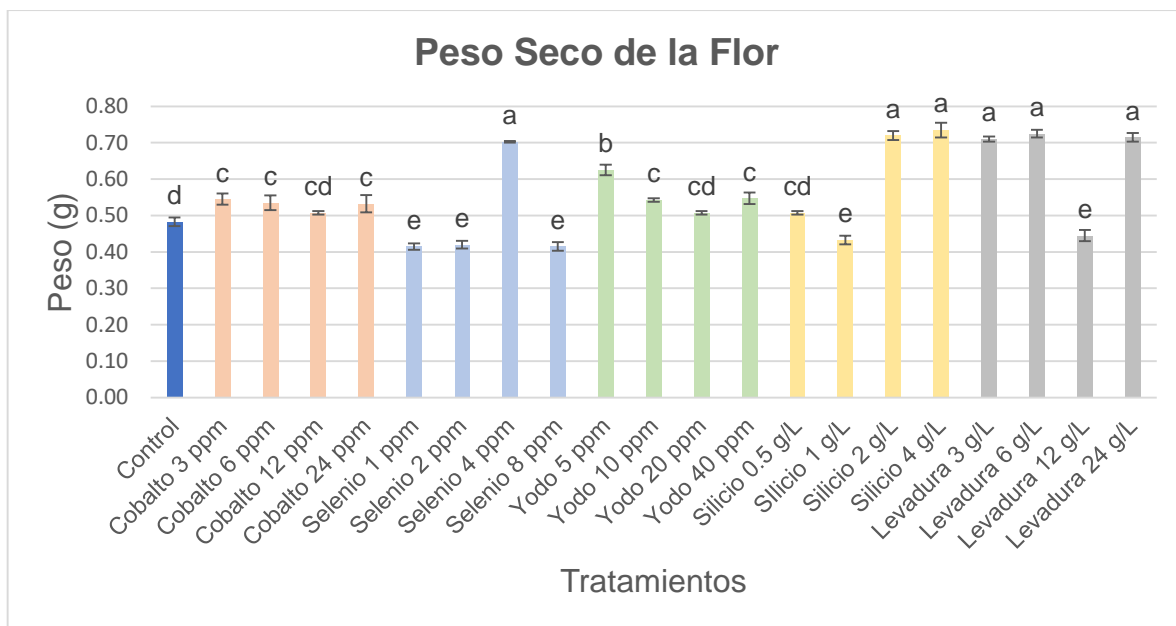


Figura 21. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el peso seco de la flor de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

El incremento del peso seco asociado al silicio puede explicarse por su capacidad para mejorar la eficiencia fotosintética, fortalecer las paredes celulares y optimizar el transporte y la redistribución de carbohidratos hacia los órganos reproductivos. Diversos estudios han demostrado que el silicio favorece la estabilidad estructural de los tejidos y reduce el gasto energético asociado a mecanismos de defensa, permitiendo que una mayor proporción de asimilados se destine a la formación de biomasa (Ma & Yamaji, 2015; Liang et al., 2015). En ornamentales, este efecto se traduce en flores con mayor densidad tisular y mejor calidad comercial.

Resultados similares han sido reportados en cultivos florícolas como clavel y rosa, donde la aplicación de silicio incrementó la acumulación de materia seca floral al mejorar la eficiencia fotosintética y la resistencia estructural de los tejidos reproductivos (Alvarez & Datnoff, 2001).

Por su parte, los tratamientos con levadura mostraron una respuesta positiva consistente, lo que puede atribuirse a su contenido de aminoácidos, vitaminas del complejo B, carbohidratos y compuestos bioactivos con efecto similar a fitohormonas. Estos componentes estimulan la actividad metabólica, promueven la división celular y favorecen la síntesis de compuestos

estructurales, incrementando la acumulación de materia seca en los órganos florales (Khalid et al., 2018; Sarraf et al., 2023).

Asimismo, la levadura puede mejorar la asimilación nutrimental y la eficiencia del uso del carbono, lo que explica los incrementos observados en esta variable. En este sentido, se ha documentado que extractos de levadura incrementan la biomasa reproductiva en plantas ornamentales al estimular rutas metabólicas asociadas a la síntesis de carbohidratos y proteínas estructurales (Ertani et al., 2013).

La acumulación de materia seca floral depende estrechamente de la partición de asimilados, del mantenimiento de una actividad fotosintética eficiente y de la integridad metabólica durante el llenado del órgano. En este sentido, los elementos benéficos y bioestimulantes pueden sostener estas rutas fisiológicas, favoreciendo una mayor biomasa final en la flor (Sarraf et al., 2023).

El incremento registrado en el peso seco de la flor con cobalto 3 ppm concuerda con resultados obtenidos en girasol (*Helianthus annuus*), donde aplicaciones bajas de este micronutriente favorecieron la acumulación de materia seca en órganos reproductivos. Dicho efecto se atribuyó a una mejora en la actividad metabólica y en la eficiencia del uso del nitrógeno, lo que permitió una mayor partición de asimilados hacia estructuras florales. No obstante, el mismo estudio señala que concentraciones superiores alteran la homeostasis celular y reducen la acumulación de biomasa, confirmando la naturaleza dosis-dependiente del cobalto (Sady et al., 2019).

En contraste, se registraron reducciones en el peso seco con selenio a 1 ppm (16.27 %), selenio a 8 ppm (16.26 %) y selenio a 2 ppm (14.88 %) respecto al control, lo que sugiere un efecto negativo de este elemento bajo las condiciones evaluadas. Aunque el selenio puede actuar como antioxidante a concentraciones muy bajas, su estrecho margen entre dosis benéfica y tóxica puede provocar alteraciones metabólicas cuando se excede dicho umbral.

A nivel celular, la toxicidad por selenio se ha asociado con la sustitución del azufre en aminoácidos esenciales, dando lugar a selenoproteínas mal conformadas, así como al incremento del estrés oxidativo. Estos procesos afectan la integridad de membranas, la actividad enzimática y la síntesis de biomoléculas, lo que limita la acumulación de materia

seca y reduce el crecimiento de los órganos florales (Van Hoewyk, 2013; Hasanuzzaman et al., 2020).

4.9 Peso seco de la planta

La variable del peso seco de la planta mostró los cambios más grandes de todo el bloque de biomasa. Yodo a 40 ppm alcanzó 80.27 %, ubicándose como el incremento más alto y significativamente superior al control, seguido de yodo 5 ppm (63.78 %), cobalto 6 ppm (50.81 %), silicio 2 g L⁻¹ (37.84 %), levadura 6 g L⁻¹ (36.22 %) y selenio 4 ppm (33.62 %). Este resultado sugiere una mayor acumulación neta de materia orgánica, lo que normalmente se relaciona con mayor eficiencia fotosintética y mejor partición de carbon (Figura 22).



Figura 22. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el peso seco de la planta de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

La evidencia científica indica que el yodo puede actuar como un elemento benéfico en ciertas condiciones, asociado con metabolismo antioxidante y respuestas fisiológicas que sostienen crecimiento. En revisiones sobre yodo en plantas se destaca que, a dosis adecuadas, puede influir en procesos de tolerancia y desempeño general (Medrano-Macías et al., 2016).

No obstante, el mismo elemento puede ser negativo en concentraciones excesivas o en especies sensibles. Se ha documentado que el yodo en exceso tiene efectos inhibitorios y puede acelerar oxidación tisular y senescencia, lo que finalmente limita crecimiento y biomasa (Zhang et al., 2023).

Desde una perspectiva fisiológica, los efectos positivos del yodo a dosis bajas se han relacionado con su participación indirecta en la regulación del balance redox y en la activación de sistemas antioxidantes, lo que permite mantener la integridad celular y la eficiencia metabólica bajo condiciones favorables. Estos mecanismos contribuyen a sostener la acumulación de biomasa vegetal cuando el elemento se encuentra dentro de un rango óptimo (Kiferle et al., 2021).

Sin embargo, al superar dicho rango, el yodo puede inducir desequilibrios oxidativos que afectan la estabilidad de membranas y la actividad enzimática, reduciendo el crecimiento total de la planta (Smoleń et al., 2020).

En relación con el silicio, el aumento del peso seco de la planta concuerda con evidencias obtenidas en cultivos como arroz (*Oryza sativa*), donde la aplicación de este elemento favoreció la acumulación de biomasa total. Dicho efecto se ha asociado con una mejora en la eficiencia del aparato fotosintético y con una mayor estabilidad estructural de los tejidos, lo que permite una asignación más eficiente de asimilados hacia los órganos vegetativos. Además, se ha señalado que el silicio puede disminuir el costo energético relacionado con respuestas de estrés, contribuyendo así a una mayor acumulación neta de materia seca (Ma & Yamaji, 2015).

Respecto a la levadura, en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*), la aplicación de extractos de levadura promovió un mayor crecimiento vegetativo y acumulación de biomasa. Este efecto se ha atribuido a la presencia de compuestos orgánicos bioactivos, como aminoácidos y vitaminas, que estimulan la actividad metabólica y favorecen la síntesis y el almacenamiento de carbohidratos estructurales, incrementando así el peso seco total de la planta (Abdel-Aziz, 2019).

En el caso del selenio, se ha destacado que este efecto benéfico ocurre únicamente dentro de un rango estrecho de concentración, ya que niveles superiores pueden inducir estrés oxidativo y limitar el crecimiento, lo que explica la variabilidad en la respuesta del peso seco de la planta frente a diferentes dosis de selenio (Hawrylak-Nowak, 2018).

En el extremo negativo, cobalto 12 ppm (20.91 %) y cobalto 24 ppm (18.21 %) fueron los valores más bajos. Esta reducción es consistente con efectos de estrés por Co en los que se compromete la fotosíntesis y la homeostasis oxidativa, reduciendo la acumulación de materia seca.

Se ha descrito que concentraciones elevadas de Co causan impactos tóxicos en células vegetales, incluyendo daño en membranas y estructuras fotosintéticas, así como alteraciones en sistemas antioxidantes, lo que deriva en menor crecimiento y biomasa (Radi et al., 2025).

Adicionalmente, se ha reportado que el exceso de cobalto interfiere con la absorción y el metabolismo de otros nutrientes esenciales, lo que agrava las limitaciones fisiológicas y reduce la eficiencia del uso del carbono en la planta. Este tipo de antagonismos nutrimentales, sumados al estrés oxidativo inducido por Co, explican la marcada disminución en el peso seco observada a concentraciones elevadas de este micronutriente (Adriano, 2001; Liu et al., 2019).

4.10 Diámetro ecuatorial de la flor

Se presentaron incrementos significativos en comparación con el control, destacando cobalto 6 ppm con 30.54 %, selenio 4 ppm con 20.81 %, silicio 4 g L⁻¹ con 12.43 %, yodo 40 ppm con 10.20 % y levadura 12 g L⁻¹ con 8.60 %, lo que indica que, bajo concentraciones intermedias, estos elementos favorecieron la expansión lateral del órgano floral (Figura 23).

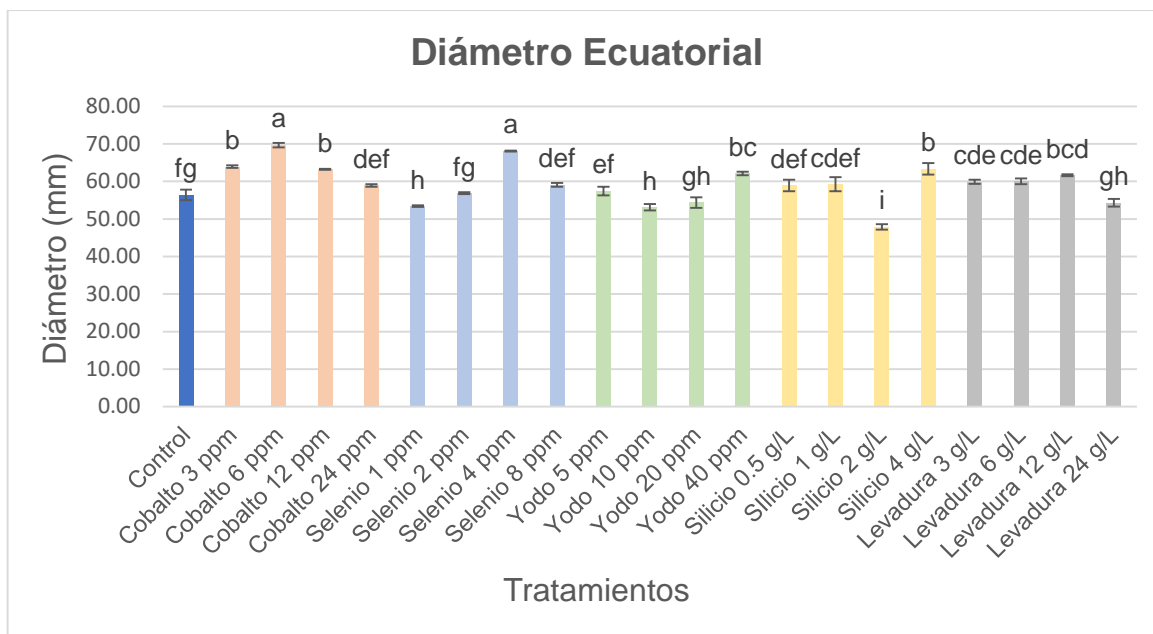


Figura 23. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro ecuatorial de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

Este comportamiento confirma que ciertos micronutrientes pueden estimular el crecimiento floral cuando se encuentran dentro de un rango fisiológicamente adecuado, incluso en especies ornamentales sensibles (Hu et al., 2021). En particular, se ha documentado que aplicaciones bajas de cobalto incrementan el tamaño de órganos reproductivos en coliflor (*Brassica oleracea*), mientras que concentraciones superiores reducen su desarrollo, evidenciando su carácter dosis-dependiente, lo cual coincide con la respuesta observada en lisianthus (Gad & El-Bassuny, 2018).

Desde el punto de vista metabólico, la expansión ecuatorial de la flor depende de procesos de división y elongación celular que requieren integridad de membranas, un balance redox estable y una adecuada disponibilidad energética. Micronutrientes aplicados en concentraciones óptimas pueden favorecer la deposición de componentes estructurales de la pared celular, como celulosa y pectinas, al sostener la actividad metabólica y el transporte de asimilados hacia los órganos florales (Marschner, 2012). En contraste, el exceso de estos

elementos incrementa la generación de especies reactivas de oxígeno, lo que limita la expansión celular y restringe el crecimiento floral (Zahid et al., 2024).

El efecto positivo del silicio concuerda con reportes en ornamentales, donde su aplicación mejoró la estabilidad de la pared celular y la movilización de carbohidratos hacia las flores, resultando en un mayor crecimiento ecuatorial (Kamenidou et al., 2010).

De manera similar, el yodo, aplicado en concentraciones controladas, ha sido asociado con una mejora del metabolismo antioxidante durante la fase reproductiva, promoviendo la expansión de los órganos florales; sin embargo, su efecto se limita a un rango estrecho de dosis (Smoleń, 2018).

En cuanto a la levadura, el incremento observado con 12 g L^{-1} es consistente con evidencia en ornamentales donde extractos de *Saccharomyces cerevisiae* promovieron atributos de floración y tamaño de inflorescencia, asociado con el aporte de compuestos bioactivos (aminoácidos, vitaminas y precursores hormonales) que favorecen división y expansión celular durante el desarrollo floral (Atteya et al., 2018). Asimismo, la aplicación controlada de elementos traza puede mejorar la eficiencia fotosintética y la partición de carbohidratos hacia las flores; en contraste, concentraciones elevadas alteran la homeostasis celular y reducen la capacidad de expansión, coincidiendo con los patrones observados en esta variable (Hasanuzzaman et al., 2020; Taiz et al., 2017).

4.11 Diámetro polar de la flor

Se observaron incrementos porcentuales superiores al control en el diámetro polar de la flor con levadura 3 g L^{-1} (13.88 %) y silicio 1 g L^{-1} (9.98 %), así como con levadura 24 g L^{-1} y yodo 20 ppm, los cuales también superaron numéricamente al testigo (Figura 24).

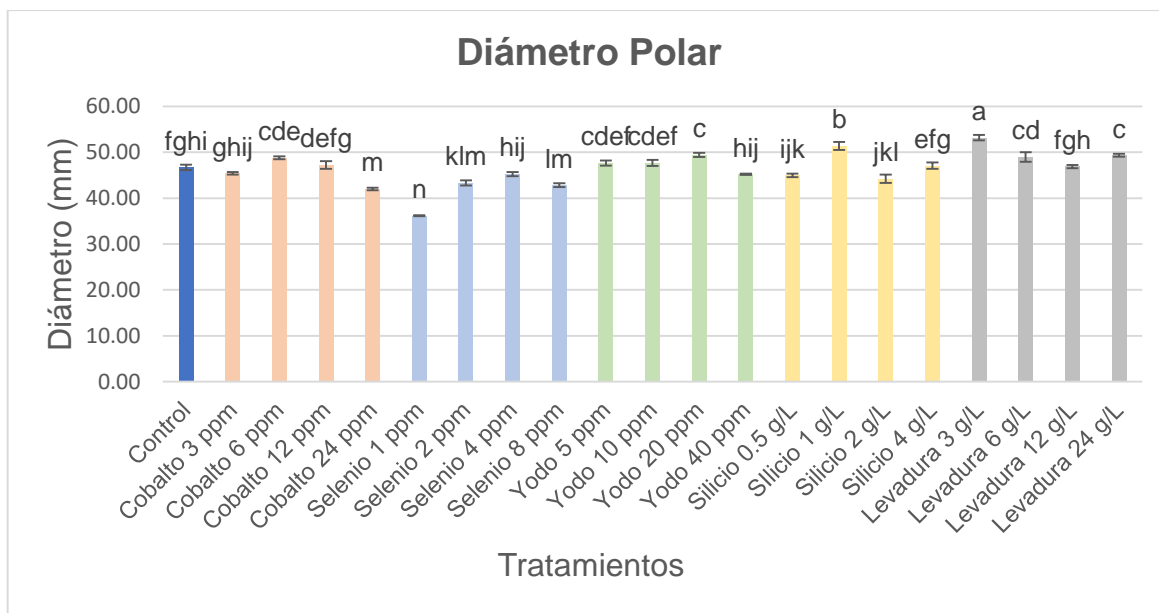


Figura 24. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro polar de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

Estos resultados indican que tanto bioestimulantes orgánicos como elementos benéficos pueden favorecer la elongación floral cuando se aplican en concentraciones adecuadas, influyendo positivamente en la arquitectura del órgano reproductivo (Hernández-Fernández et al., 2021).

El efecto positivo del silicio a dosis intermedia concuerda con estudios realizados en girasol (*Helianthus annuus*), donde se demostró que aplicaciones moderadas de este elemento mejoran la apertura floral, el tamaño de la flor y la calidad ornamental, mientras que concentraciones elevadas provocan deformaciones y reducciones en el crecimiento. Este patrón coincide con la respuesta observada en lisianthus y refuerza la importancia de una dosificación precisa del silicio (Kamenidou et al., 2008).

De manera similar, la levadura, particularmente a 3 g L⁻¹ (13.88 %), mostró un efecto promotor marcado sobre el diámetro polar. En otros cultivos ornamentales y hortícolas se ha documentado que la aplicación de levaduras puede estimular el crecimiento y desarrollo de órganos reproductivos debido a la liberación de compuestos orgánicos, vitaminas y sustancias con actividad similar a fitohormonas, las cuales favorecen la división y elongación celular (Lonhienne et al., 2014).

Por el contrario, varios tratamientos se ubicaron por debajo del control, como selenio 1 ppm (29.13 %), selenio 2 ppm (7.78 %), selenio 4 ppm (3.23 %) y selenio 8 ppm (9.06 %),

evidenciando una reducción significativa en la elongación floral. Esta respuesta puede explicarse por la alta sensibilidad del cultivo al selenio, ya que este elemento puede incorporarse erróneamente en aminoácidos azufrados, alterando la estructura proteica y afectando el crecimiento de tejidos florales (Van Hoewyk, 2013).

Asimismo, cobalto 24 ppm (11.09 %) y cobalto 3 ppm (2.8 %) presentaron valores inferiores al control, lo que sugiere que concentraciones no óptimas de este micronutriente pueden limitar la elongación floral. En otros cultivos se ha reportado que el exceso de cobalto induce estrés oxidativo, altera la permeabilidad de las membranas y reduce la eficiencia fisiológica, afectando negativamente el desarrollo de los órganos reproductivos (Hu et al., 2021).

El silicio a 0.5 y 2 g L⁻¹, así como yodo 40 ppm, también mostraron reducciones en el diámetro polar respecto al testigo. Estudios han señalado que dosis inadecuadas de silicio pueden generar rigidez excesiva en los tejidos o interferencias nutrimentales, mientras que concentraciones elevadas de yodo pueden inducir estrés oxidativo y acelerar procesos de senescencia, restringiendo la elongación floral (Zhang et al., 2023).

La elongación del diámetro polar depende de una adecuada expansión celular, regulada por el equilibrio hídrico, la integridad de la pared celular y un balance redox estable. Cuando los elementos benéficos se aplican fuera de su rango fisiológico óptimo, se incrementa la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que desvía recursos metabólicos hacia mecanismos de defensa y limita el crecimiento de los órganos florales (Zahid et al., 2024).

4.12 Longitud del pedúnculo

La variable longitud del pedúnculo aumentó significativamente con cobalto 3 y 12 ppm con aumentos significativos de 29.08 % y 28.67 %, seguido de silicio 1 g L⁻¹ con 26.10 %, superando al control.

La aplicación de cobalto a 24 ppm redujo significativamente el valor respecto al control, con una disminución del 23.32 %. En conjunto, los resultados indican que el cobalto favorece esta variable únicamente dentro de un rango óptimo de concentración, mientras que dosis superiores limitan su expresión (Figura 25).

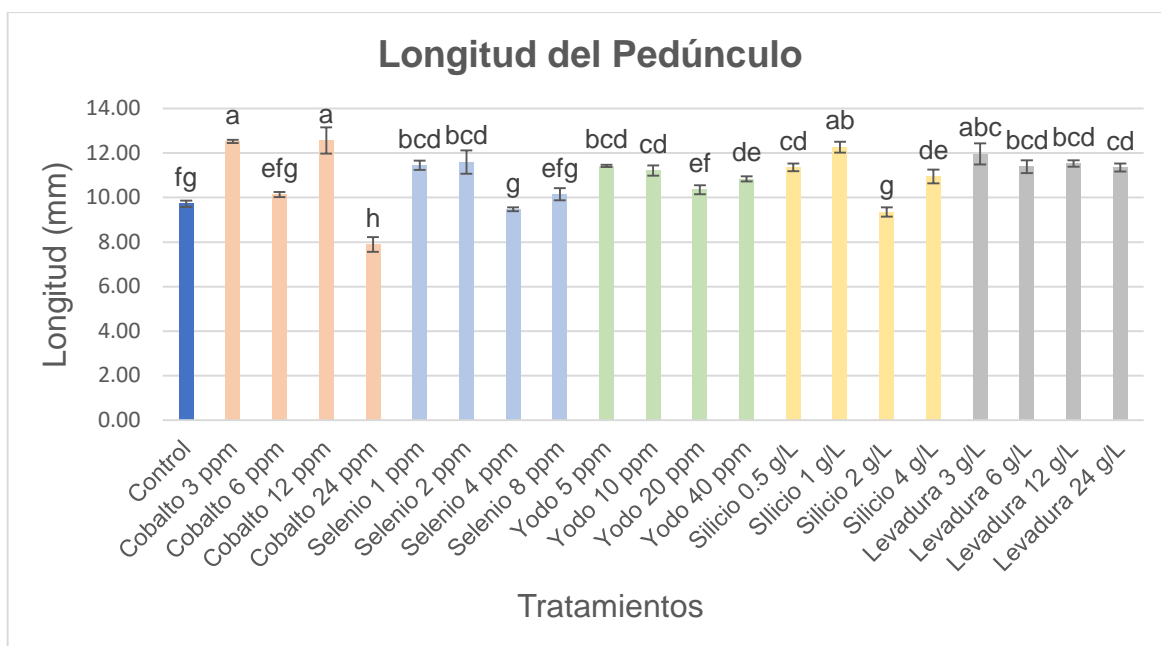


Figura 25. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en la longitud del pedúnculo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

Estos resultados indican que ciertas concentraciones favorecen el crecimiento del pedúnculo, estructura clave para la calidad comercial de flores de corte, al mejorar el soporte y la conducción de asimilados. (Hu et al., 2021).

Resultados similares han sido reportados en gladiola (*Gladiolus grandiflorus*), donde aplicaciones moderadas de micronutrientes incrementaron la longitud de varas florales y mejoraron la calidad ornamental. Esto sugiere que el efecto observado no es exclusivo del lisianthus, sino un fenómeno reproducible en otras especies florícolas (Trejo-Téllez et al., 2014).

Dosis altas de cobalto redujeron la longitud del pedúnculo, lo cual puede atribuirse a la alteración de procesos fisiológicos clave, como la fotosíntesis y el transporte de nutrientes. Estudios recientes señalan que el exceso de cobalto induce estrés oxidativo y daño ultraestructural, limitando el crecimiento longitudinal de los tejidos (Salam et al., 2024).

Desde un enfoque fisiológico, la elongación del pedúnculo depende de una adecuada expansión celular y del suministro continuo de carbohidratos provenientes de los órganos

fotosintéticos. Micronutrientes aplicados en rangos óptimos pueden favorecer estos procesos al mantener la funcionalidad del sistema vascular y la integridad de las paredes celulares, permitiendo un crecimiento longitudinal sostenido (Marschner, 2012).

Así mismo, se ha documentado que la longitud del pedúnculo está estrechamente relacionada con la eficiencia del transporte de asimilados y con la actividad hormonal, particularmente de auxinas y giberelinas, las cuales regulan la elongación celular. La aplicación equilibrada de micronutrientes puede interactuar positivamente con estas rutas hormonales, mientras que concentraciones excesivas generan desequilibrios metabólicos que restringen el crecimiento del eje floral (Taiz et al., 2017).

Estudios en flores de corte indican que el estrés oxidativo inducido por elementos traza en exceso reduce la plasticidad celular y limita la elongación de tejidos, afectando directamente la longitud del pedúnculo y, por ende, la calidad comercial de la flor. Este comportamiento concuerda con la reducción observada bajo dosis elevadas de cobalto en el presente estudio (Hasanuzzaman et al., 2020).

4.13 Diámetro del pedúnculo

Aplicaciones con cobalto 24 ppm (22.07 %) y con aplicaciones de silicio a 0.5 (0.34 %), 1 (8.74 %) y 4 g L⁻¹ (12.79 %), lo que indica un engrosamiento estructural del tejido (Figura 26).

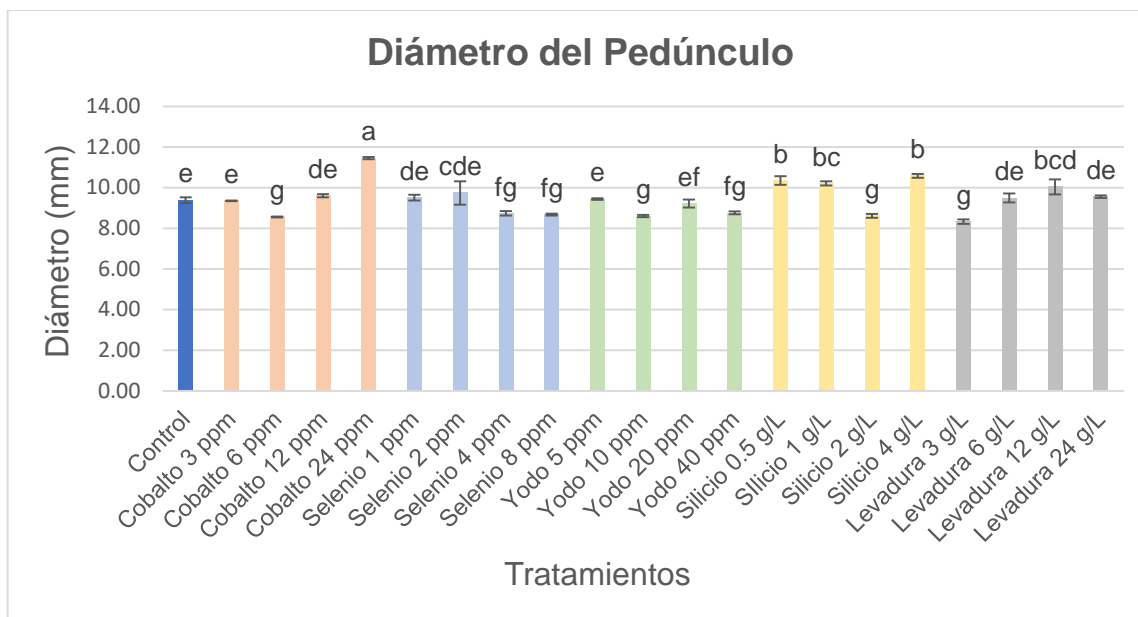


Figura 26. Efecto de los elementos benéficos (selenio, cobalto, yodo y silicio) y levadura como bioestimulantes en el diámetro del pedúnculo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum*).

Este efecto puede relacionarse con una mayor deposición de componentes de la pared celular y con un fortalecimiento mecánico del pedúnculo (Kamenidou et al., 2010).

En otros cultivos ornamentales, se ha reportado que el silicio se acumula en tejidos de soporte, aumentando la rigidez y resistencia mecánica de tallos y pedúnculos. Estos cambios estructurales contribuyen a mejorar la calidad poscosecha y la estabilidad de las flores durante el manejo (Kumari et al., 2023).

Sin embargo, la reducción del diámetro del pedúnculo observada con levadura 3 g L⁻¹ con una disminución de 12.69% sugiere que los bioestimulantes no siempre generan respuestas positivas en todas las estructuras. Se ha documentado que concentraciones elevadas de compuestos con actividad hormonal pueden alterar el equilibrio endógeno de fitohormonas, afectando negativamente el desarrollo de tejidos específicos (Kowalska et al., 2022).

Se ha señalado que el engrosamiento del pedúnculo está estrechamente vinculado con la redistribución de carbohidratos estructurales y con la actividad de enzimas involucradas en

la síntesis de celulosa y lignina, procesos que pueden ser estimulados por la presencia de silicio en concentraciones adecuadas. Estos mecanismos explican el aumento del diámetro del pedúnculo y su mayor resistencia mecánica bajo tratamientos específicos (Ma & Yamaji, 2015).

Por otro lado, respuestas negativas asociadas a bioestimulantes como la levadura pueden explicarse por una sobreestimulación metabólica que genera desbalances fisiológicos temporales, afectando la diferenciación celular en tejidos de soporte. Este tipo de respuesta ha sido documentado en plantas ornamentales cuando la concentración o el momento de aplicación no coincide con la etapa óptima de desarrollo del órgano evaluado (Calvo et al., 2014)

V. CONCLUSIÓN

La aplicación foliar de elementos benéficos y levadura influyó significativamente en el crecimiento vegetativo y la calidad floral de *lisianthus*, mostrando que estos insumos pueden incorporarse como herramientas complementarias dentro del manejo del cultivo. Las respuestas observadas fueron dependientes del tipo de bioestimulante (silicio, levadura, yodo, selenio o cobalto) y de la dosis aplicada, destacándose que las concentraciones intermedias generaron los mejores resultados favoreciendo variables morfológicas y productivas relevantes, mientras que dosis elevadas provocaron efectos limitantes o inhibitorios asociados a posibles efectos de toxicidad.

El silicio destacó por su efecto consistente sobre el crecimiento vegetativo y la biomasa floral, particularmente en la altura de planta, el número y ancho de hojas y el peso seco de la flor. La levadura mostró un impacto sobresaliente en la biomasa floral, con incrementos marcados en el peso fresco y seco de la flor, confirmando su potencial como bioestimulante orgánico, aunque su respuesta dependió de la dosis aplicada.

El yodo presentó efectos contrastantes, favoreciendo la expansión foliar, el número de botones florales y el peso seco total de la planta a concentraciones moderadas, pero limitando el crecimiento a dosis no adecuadas limitaron.

El cobalto evidenció un comportamiento dosis-dependiente, al estimular variables asociadas a la calidad floral a dosis bajas o intermedias y reducir la biomasa y el crecimiento a dosis elevadas.

El selenio mostró la respuesta más restrictiva, con efectos favorables únicamente en variables como la altura, diámetro de tallo, número de hojas y largo de hojas y reducciones significativas en la biomasa floral cuando se superó su rango fisiológico.

Los resultados obtenidos indican que el uso racional de elementos benéficos y bioestimulantes puede mejorar el rendimiento y la calidad del *lisianthus*, siempre que se consideren dosis y un manejo integrado adecuado. Finalmente se recomienda continuar con investigaciones orientadas a evaluar los efectos fisiológicos y metabólicos de estos insumos, y evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de producción, con el fin de fortalecer su aplicación práctica en la floricultura.

VI. LITERATURA CITADA

Abdel-Aziz, N. G. (2019). Effect of yeast extract on vegetative growth and leaf characteristics of cucumber plants. *Journal of Plant Nutrition*, 42(9), 1017–1026. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1584215>

Adriano, D. C. (2001). Trace elements in terrestrial environments: Biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>

Agrauxine. (2024). Yeast efficiency: Bioestimulantes a base de levadura para cultivos agrícolas. Agrauxine Biostimulants.

Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition (2nd ed.). International Zinc Association.

Al-Moneim, D. A., El-Sayed, S. A., Abd El-Rahman, S. S., & Ahmed, M. A. (2025). Effect of foliar application using amino acids, yeast extract, and algae extract on growth parameters, yield traits, grain quality, and nitrogen-related parameters of wheat in arid environments. *Egyptian Journal of Agronomy*, 47(3), 513–533. <https://doi.org/10.21608/agro.2025.326609.1528>

Alvarado-Camarillo, D., Flores-Pérez, M., Martínez-Montoya, H., & Ramírez-Maldonado, A. (2018). Efecto del calcio, magnesio y fósforo sobre el crecimiento y desarrollo de rosal. *Bio Ciencias*, 5, e322. <https://doi.org/10.15741/revbio.05.e322>

Alvarez, J., & Datnoff, L. E. (2001). The role of silicon in plant disease resistance and growth. *Crop Protection*, 20(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00064-6)

Anderson, N. O. (2006). Flower breeding and genetics: Issues, challenges and opportunities for the 21st century. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1>

ASERCA. (2017). La 8ª Expo Nacional Viverismo: Impulso para la industria ornamental mexicana. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/aserca/es/prensa/la-8-expo-nacional-viverismo-impulso-para-industria-ornamental-mexicana>

Ashrafi, N., & Rezaei Nejad, A. (2018). Lisianthus response to salinity stress. *Photosynthetica*, 56(2), 487–494. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0709-0>

Atteya, A. K. G. (2018). Using bio-stimulating to improve growth quality and quantity of *Zinnia elegans* plants. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(2), 512–523.

Bai, Y., & Jiang, Y. (2019). Effects of illumination on growth and development and quality of cut flowers of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinners. *Asian Agricultural Research*, 11(12), 68–72. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.300982>

Bandehagh, A., Dehghanian, Z., Gougerdchi, V., & Hossain, M. (2023). Selenium: A game changer in plant development, growth, and stress tolerance via modulation of gene expression and secondary metabolite biosynthesis. *Phyton*, 92(8), 2301–2324. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.028586>

Blasco, B. (2015). Iodine biofortification and plant growth responses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 93, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.04.013>

Broadley, M. R., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. J. (2012). Function of nutrients: Micronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 191–248). Academic Press.

Calvo, P., Nelson, L., & Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

Casas-Acevedo, B., Alcívar-Bravo, D., Viteri-Moya, J., & Rodríguez-Pérez, J. (2015). Adaptación de levaduras: factores de incidencia de estrés fermentativo del género *Saccharomyces* en vinificación. *Revista de Microbiología Fermentativa*, 9(2), 45–58.

Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Valdez-Aguilar, L. A., & Velázquez-Maldonado, J. (2017). Extracción nutrimental en *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn cv. Mariachi Pink. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 345–354. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.55>

Chachín, A. M. G., Verdugo, R., & Montesinos, V. A. (2002). Manejo de poscosecha de flores. Centro de Investigación Carillanca. <https://biblioteca.inia.cl/bitstreams/058666f4-df10-4475-b0d4ca0ef0673ab3/download>

Chen, H., Cheng, Q., Chen, Q., Ye, X., Qu, Y., Song, W., Fahad, S., Gao, J., Saud, S., Xu, Y., & Shen, Y. (2022). Effect of selenium on physiological characteristics and growth of *Dioscorea esculenta*. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 965649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.965649>

Chen, Y. H., & Tsai, W. Y. (2015). Night-break lighting treatment improves the growth quality of *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*) in Taiwan. *Acta Horticulturae*, 1104, 31–38. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1104.31>

Coronel, C., & Valdez, J. E. (2018). La levadura *Saccharomyces cerevisiae*: de la cerveza a la biología de sistemas. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Cruz-Crespo, E., Jaen-Contreras, D., Cadena-Iñiguez, J., Gaytán-Acuña, A., & Arévalo-Galarza, M. de L. (2020). Fertilización foliar en la calidad de tallos de *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinners ‘Flamenco Purple’. *Agro Productividad*, 13(3), 77–84. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1552>

Dębicz, R., & Wróblewska, K. (2011). The effect of silicon foliar application on the development of seasonal ornamental plants. *Acta Agrobotanica*, 64(4), 99–108.

Dole, J. M., & Kalinowski, J. (2024). Long-term subzero storage of specialty cut flowers: Freesia, lisianthus and others. Association of Specialty Cut Flower Growers Report. <https://ascfg.org>

Domínguez Salvador, E., & Minami, K. (2004). Evaluation of different substrates on lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Shinn) growth. *Acta Horticulturae*, 644, 29–34. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.644.29>

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641–664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>

El-Shaboury, H. A., El-Emshaty, A. M., & Baddour, A. G. (2023). Yeast extract promotes vegetative and reproductive growth via enhanced photosynthetic pigments and enzyme activity. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 14(11), 363–370. <https://doi.org/10.21608/jssae.2023.249010.1199>

Epstein, E. (2009). Silicon: Its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology*, 155(2), 155–160. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>

Epstein, E., & Bloom, A. J. (2005). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives* (2nd ed.). Sinauer Associates.

Ertani, A., Schiavon, M., Muscolo, A., & Nardi, S. (2013). Alfalfa plant-derived biostimulant stimulates short-term growth of salt-stressed *Zea mays* L. plants. *Plant and Soil*, 364(1–2), 145–158. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1335-z>

Espinoza-Flores, A., Mejía-Muñoz, J. M., Colinas-León, M. T., Rodríguez-Elizalde, M. A., Urbanczyk-Pyc, A. E., & Beltrán-Bernal, M. A. (2009). Catálogo nacional de especies y variedades comerciales de plantas y flores producidas en México. Universidad Autónoma Chapingo.

Fernández-Pavía, 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), 45–52. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1115>

Feyder, S., De Craene, J.-O., & Friant, S. (2018). Membrane trafficking in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* model. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/302777>

Flores, J., Martínez, L., & Gutiérrez, P. (2020). Producción de ornamentales de alto valor en sistemas protegidos. Universidad Autónoma Chapingo.

Flores-Pérez, S., Valdez-Aguilar, L. A., Castillo-González, A. M., & Avitia-García, E. (2018). Abastecimiento de nitrógeno en *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn cv. ABC2 Lavender. *Agroproductividad*, 11(8), 55–60.

Frontiers in Plant Science. (2021). Cobalt: An essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in Plant Science*, 12, 768523. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.768523>

Gad, N. (2013). Cobalt nutrition and plant growth. *International Journal of Agricultural Research*, 8(3), 151–162.

Gad, N., & El-Bassuny, A. M. (2018). Effect of cobalt on growth, yield and quality of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). *International Journal of Agricultural Research*, 13(1), 1–10.

Geiser, D. M. (2007). Population biology of *Fusarium* species causing wilts of lisianthus and other crops. *Plant Disease*, 91(8), 993–1001. <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-8-0993>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2024). Ornamentos: La belleza también se expresa en datos. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/914248/Brochure_Ornamentos_Mayo_2024.pdf

Gobierno del Estado de México. (2024). Floricultura: actividad económica más importante del sector agropecuario en el Estado de México. <https://www.gob.mx/agricultura|edomex/articulos/floricultura-actividad-economica-mas-importante-del-sector-agropecuario-en-el-edomex>

Halevy, A. H., & Kofranek, A. M. (1984). Evaluation of lisianthus as a new flower crop. *HortScience*, 19(6), 845–847.

Hanks, G. (2014). Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) as a cut flower crop grown in polythene tunnels. National Cut Flower Centre / Horticultural Development Company. <https://thecutflowercentre.co.uk/wp-content/uploads/2014/05/CFC-HDC-Lisianthus-trials.pdf>

Hanks, G. (2015). A review of production statistics for the cut-flower and foliage sector 2015. National Cut Flower Centre.

Hanks, G. (2018). A review of production statistics for the cut flower and foliage sector. National Cut Flower Centre. https://horticulture.ahdb.org.uk/sites/default/files/CFC_Cut_Flower_production_statistics_2018.pdf

Harbaugh, B. K. (2007). *Lisianthus*. In N. O. Anderson (Ed.), *Flower breeding and genetics: Issues, challenges and opportunities for the 21st century* (pp. 644–663). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1_24

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud, J. A., & Fujita, M. (2020). Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: Role of selenium and sulfur. *Antioxidants*, 9(8), 742. <https://doi.org/10.3390/antiox9080742>

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Nahar, K., & Fujita, M. (2020). Selenium in plants: Boon or bane? *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104170. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104170>

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of macronutrients and micronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 135–189). Academic Press.

Hawrylak-Nowak, B. (2018). Selenium uptake, translocation and effects on growth of vegetable crops. *Plant Physiology and Biochemistry*, 127, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.021>

Hernández-Fernández, M., Cordero-Bueso, G., Ruiz-Muñoz, M., & Cantoral, J. M. (2021). Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture: A comprehensive review. *Plants*, 10(5), 822. <https://doi.org/10.3390/plants10050822>

Hernández-Pérez, A., Valdez-Aguilar, L. A., & Sandoval-Villa, M. (2021). Influencia del nitrógeno y potasio en la calidad de flor de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cultivado en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 867–880. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2841>

Hernández-Pérez, A., Valdez-Aguilar, L. A., Villegas-Torres, O. G., Alía-Tejacal, I., Trejo-Téllez, L. I., & Sainz-Aispuro, M. D. J. (2016). Effects of ammonium and calcium on lisianthus growth. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(1), 9–16. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0107-9>

Hernández-Pérez, A., Valdez-Aguilar, L. A., Villegas-Torres, O. G., Alía-Tejacal, I., Trejo-Téllez, L. I., & Sainz-Aispuro, M. D. J. (2016). Effects of ammonium and calcium on lisianthus growth. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(3), 253–261. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0005-9>

Holwerda, H. T., Matthews, B., & Stevens, J. (2023). Innovative fertilizer products and pioneering producers. *BC Insight*, July 2023.

Hu, J., Xu, Z., Wang, Y., & Zhou, Y. (2021). Micronutrient regulation of floral organ growth and development in ornamental plants. *Horticultural Plant Journal*, 7(5), 425–434. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.03.006>

Hu, X., Wei, X., Ling, J., & Chen, J. (2021). Cobalt: An essential micronutrient for plant growth? *Frontiers in Plant Science*, 12, 768523. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.768523>

Hu, Y., Burucs, Z., & Schmidhalter, U. (2021). Trace elements and floral development: Physiological thresholds and growth responses. *Plant Biology*, 23(4), 612–620. <https://doi.org/10.1111/plb.13245>

International Association of Horticultural Producers. (2022). Experts in the field of floriculture meet at ornamental plants and flowers (OPF) Mexico. <https://aiph.org/floraculture/news/experts-in-the-field-of-floriculturemeet-at-ornamental-plants-and-flowers-opf-mexico/>

International Association of Horticultural Producers. (2024). International statistics – Flowers & plants yearbook 2024. <https://aiph.org/giic/international-statistical-yearbook/>

INFOCENTER-FIA. (2010). Análisis mundial de estrategia e innovación relacionada con las tecnologías aplicadas a la producción de flor y follaje de corte. Fundación para la Innovación Agraria, Gobierno de Chile.

Kalinowski, J., & Dole, J. M. (2014). Calcium ameliorates the tolerance of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn to alkalinity in irrigation water. *HortScience*, 49(6), 807–814. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.6.807>

Kalinowski, J., & Dole, J. M. (2024). Long-term subzero storage of specialty cut flowers: Freesia, lisianthus and others. *Association of Specialty Cut Flower Growers Report*. <https://ascfg.org>

Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2008). Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. *HortScience*, 43(1), 236–239.

Kamenidou, S., Cavins, T. J., & Marek, S. (2010). Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. *HortScience*, 45(3), 404–408. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.3.404>

Karli, B., Songur, M., Sinek, B., & Kadakoğlu, B. (2022). Economic analysis of cut flower production (carnation, gerbera and lisianthus) in Türkiye: The case of Antalya province. *Scientific Papers Series: Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 22(3). <https://managementjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/2954-economic-analysis-of-cut-flower-production-carnation-gerbera-and-lisianthus-in-turkey-the-case-of-antalya-province>

Khalid, K. A., Ahmed, M. A., & Abd El-Rahman, S. S. (2018). Effect of yeast and biofertilizers on growth and chemical composition of ornamental plants. *Journal of Applied Sciences Research*, 14(2), 1–9.

Kiferle, C., Gonzali, S., & Perata, P. (2021). Iodine in plants: A beneficial element for crops? *Plant Science*, 302, 110733. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110733>

Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A. M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P. A., Hora, K., Holwerda, H. T., & Perata, P. (2021). Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 616868. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.616868>

Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A. M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P. A., Hora, K., Holwerda, H. T., Scaloni, A., & Perata, P. (2020). Evidences for a nutritional role of iodine in plants [Preprint]. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.09.16.300079>

Kim, H., Ullah, M. S., Mahmood, A., Alawadi, H. F. N., Seleiman, M. F., Khan, B. A., Javaid, M. M., Wahid, A., Abdullah, F., & Wasonga, D. O. (2021). Silicon-mediated modulation of maize growth, metabolic responses, and antioxidant mechanisms under saline conditions. *BMC Plant Biology*, 25(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-06013-4>

Kowalska, J., Tyburski, J., & Jakubowska, M. (2022). Hormonal imbalance induced by biostimulants and its impact on plant development. *Agronomy*, 12(4), 841. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040841>

Kramer, B., & Spencer, F. (2022). *Saccharomyces cerevisiae* as a model system for eukaryotic cell biology, from cell cycle control to DNA damage response. *Current Biology*, 32(6), R267–R280.

Kuehny, J. S., & Branch, D. (2000). Growth and flowering responses of *Eustoma grandiflorum* to phosphorus and light. *HortScience*, 35(2), 266–268. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.35.2.266>

Kumar, A. (2025). Exploring the role of silicon in enhancing sustainable plant growth and stress tolerance. *SN Applied Sciences*, 7, Article 48.

Kumari, M., Kumar, S., & Prasad, R. (2023). Silicon-mediated improvement in ornamental crop quality and stress tolerance. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 1550–1562.

Liang, Y., Nikolic, M., Bélanger, R., Gong, H., & Song, A. (2015). *Silicon in agriculture: From theory to practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9978-2>

Liu, J., Li, K., Xu, J., Zhang, Z., Ma, T., Lu, X., Yang, J., & Zhu, Y. G. (2019). Interaction of cobalt toxicity with nutrient uptake and photosynthesis in plants. *Environmental Pollution*, 251, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.073>

Lonhienne, T., Mason, M., Ragan, M., Philip, H., Schmidt, S., & Paungfoo-Lonhienne, C. (2014). Yeast as a biofertilizer alters plant growth and morphology. *Crop Science*, 54(2), 785–795. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.07.0488>

Lu, N., Wang, Y., Li, Y., Zhang, X., & Chen, Q. (2022). Sodium selenite improves the vase life of *Eustoma grandiflorum* cut flowers. *HortScience*, 57(4), 515–520. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.57.4.515>

Ma, J. F., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science*, 20(7), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>

Majchrowicz, K., Matraszek-Gawron, R., & Hawrylak-Nowak, B. (2019). Selenium: A protective agent against pests—A review. *Plants*, 8(8), 262. <https://doi.org/10.3390/plants8080262>

Malagoli, M., Schiavon, M., Dall'Acqua, S., & Pilon-Smits, E. A. H. (2015). Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 6, 280. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00280>

Maldonado Cabrera, D., Pérez-Ríos, S., & Domínguez-Narváez, J. A. (2023). Producción de flor ornamental de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) y freesia (*Freesia × hybrida*) empleando aguas residuales en el Valle del Mezquital. XAHNI Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 6. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/xahni/article/view/11042>

Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>

Martínez, J., Hernández, L., & Pérez, R. (2019). Producción de diferentes plantas ornamentales en México: concentración regional y crecimiento. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(6), e3361. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i6.3361>

Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1146. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>

Melgares de Aguilar, J. (1996a). El cultivo de lisianthus (parte I). *Horticultura*, 113, 13–16.

Melgares de Aguilar, J. (1996b). El cultivo de lisianthus (parte II). *Horticultura*, 113, 47–50.

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2001). *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.

Mestre, M. V., Vargas, M. F., Vergara, C., Maturano, P., Pettrignani, D., Pesce, V., & Vázquez, F. (2024). Uso de levaduras cerveceras residuales como bioestimulantes en cultivos hidropónicos. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Mora, M. L., Durán, P., Acuña, J. J., Gianfreda, L., & Azcón, R. (2015). Improving the acquisition of mineral nutrients in plants. In A. M. Singh (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 130, pp. 1–44). Elsevier.

Morales-Guerra, M., Contreras-Hinojosa, J. R., Noriega-Cantú, D. H., Salinas-Cruz, E., Vázquez-Ortíz, R., & Martínez-Sánchez, J. (2024). Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) production as a strategy to reduce poverty levels in rural communities in Mexico. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.973414241115>

Murakami Seed Co. (2023). Cut-flower seedling culture recommendations for lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Murakami Seed Culture Guideline.

Murakami Seed Co. (2025). Cut-flower seedling culture recommendations for lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Murakami Seed Co.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Schiavon, M., & Ertani, A. (2016). Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Scientia Agricola*, 73(1), 18–23. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>

Oh, W. (2015). Effects of temperature, photoperiod and light intensity on growth and flowering in *Eustoma grandiflorum*. *Horticultural Science & Technology*, 33(3), 349–355. <https://doi.org/10.7235/hort.2015.15023>

Onozaki, T., Yagi, M., Ogata, T., & Tanaka, Y. (2020). Evaluation of 29 lisianthus cultivars for resistance to *Fusarium* stem rot and damping-off. *Horticultural Journal*, 89(4), 421–430. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-151>

Paradiso, R., De Micco, V., & De Pascale, S. (2009). Effects of diurnal temperature variation on growth and quality of *Eustoma grandiflorum*. *European Journal of Horticultural Science*, 74(1), 20–25.

Paradiso, R., Fiorenza, S., & De Pascale, S. (2008). Light requirements for flowering of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Acta Horticulturae*, 801, 140–146. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.801.140>

Pavlović, J., Samardžić, J., Maksimović, V., Timotijević, G., Stevanović, V., & Nikolić, M. (2021). Interactions of silicon with essential and beneficial elements in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 697592. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.697592>

Pavlović, J., Samardžić, J., Maksimović, V., Timotijević, G., Stevanović, V., & Nikolić, M. (2021). Silicon alleviates iron deficiency in cucumber by promoting mobilization of iron in the root apoplast. *New Phytologist*, 229(4), 2455–2470. <https://doi.org/10.1111/nph.17031>

Pérez Méndez, I. (2021). Producción de lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] con nutrición mineral y ácido salicílico (Tesis de maestría). Instituto Tecnológico Nacional de México, Conkal.

Pérez-Arias, G. A., Alía-Tejacal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., & Sainz-Aispuro, M. de J. (2022). La refrigeración en húmedo y seco afecta la vida poscosecha de flores de corte de *Eustoma grandiflorum* ‘ABC Blue Rim’. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(7), 1–16. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.869>

Pérez-Arias, G. A., Alía-Tejacal, I., Valdez-Aguilar, L. A., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., & Sainz-Aispuro, M. de J. (2023). La refrigeración en húmedo y seco afecta la vida poscosecha de flores de corte de lisianthus (‘ABC Blue Rim’). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.869>

PetalBackFarm. (s. f.). Growing lisianthus for cut flowers: Cultural and environmental requirements. <https://petalbackfarm.com>

Pilon-Smits, E. A. H., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2017). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.05.001>

Pilon-Smits, E. A. H., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.009>

Radi, A. A., Abdel-Hamid, M. A., & El-Beltagi, H. S. (2025). Cobalt-induced oxidative stress and defense responses of plants. *BMC Plant Biology*, 25, Article 102.

Radin, B., Reisser Júnior, C., & Bisognin, D. A. (2017). Stem growth regulation and structural stability in ornamental plants. *Scientia Horticulturae*, 214, 194–201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.032>

Ramírez, J., & Avitia-Rodríguez, J. A. (2017). Floricultura mexicana en el siglo XXI: Su desempeño en los mercados internacionales. *Revista de Economía*, 34(88), 99–122.

Ratcliff, W. C., Denison, R. F., Borrello, M., & Travisano, M. (2020). Aspects of multicellularity in *Saccharomyces cerevisiae*: A review of evolutionary and physiological mechanisms. *FEMS Yeast Research*, 20(5), foaa041. <https://doi.org/10.1093/femsyr/foaa041>

Ríos, J. J., Blasco, B., Cervilla, L. M., Rubio-Wilhelmi, M. M., & Ruiz, J. M. (2021). Selenium biofortification and its effects on leaf growth and antioxidant metabolism in leafy vegetables. *Scientia Horticulturae*, 276, 109748. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109748>

Rodríguez Chávez, D. A. (2015). Evaluación de resistencia en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) por la aplicación exógena de afinina contra la infección de *Fusarium oxysporum* f. sp. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7762/K%2063805%20Rodr%C3%ADguez%20Ch%C3%A1vez%2C%20Daniel%20Alejandro.pdf>

Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>

Rout, G. R., & Das, P. (2017). Recent trends in the floriculture industry. *Journal of Ornamental Plants*, 7(3), 123–135.

Royal Horticultural Society. (2021). *Lisianthus: Cultivation, ornamental value and market use*. RHS Horticultural Publications.

Russo, R. O., & Berlyn, G. P. (1990). The use of organic biostimulants to help low input sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1(2), 19–42. https://doi.org/10.1300/J064v01n02_04

Sady, W., Smoleń, S., Ledwożyw-Smoleń, I., & Skoczylas, Ł. (2019). Effect of cobalt on yield and mineral composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 42(3), 262–273. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1554062>

Sakata Ornamentals. (2022). *Lisianthus production tutorial*. <https://sakataornamentals.com/wp-content/uploads/sites/13/2022/02/Lisianthus-Production-Tutorial-0525-Sakata.pdf>

Sakata Seed America. (2012). *Lisianthus culture guide*. Sakata Seed Corporation. <https://sakataornamentals.com/wp-content/uploads/sites/13/2022/02/Lisianthus-Cut-Flower-Espanol-0125-SAKATA.pdf>

Sakata. (2011). *Lisianthus cut flower production*. <https://sakataornamentals.com/>

Salam, A., Liu, L., Yang, S., & Chen, J. (2024). Cobalt stress induces oxidative damage and growth inhibition in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 217, 105562. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105562>

Sánchez Arias, C. Z., & Torres Guzmán, J. C. (2023). Caracterización de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* empleadas en la producción de vino. *Revista Jóvenes en la Ciencia*. Universidad de Guanajuato.

Sarraf, M., Janeeshma, E., Arif, N., Farooqi, M. Q. U., Kumar, V., Ansari, N. A., Ghani, M. I., Ahanger, M. A., & Hasanuzzaman, M. (2023). Understanding the role of beneficial elements in developing plant stress resilience: Signalling and crosstalk with phytohormones and microbes. *Plant Stress*, 10, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100224>

Sarraf, M., Vishwakarma, K., Kumar, V., Arif, N., Das, S., Johnson, R., & Hasanuzzaman, M. (2023). Bio-stimulants and plant growth: Mechanisms and applications. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 107–123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.019>

Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon and trace elements in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>

Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant role of silicon in horticultural crops: A review. *South African Journal of Botany*, 98, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.02.011>

Selem, N., Dima, C., Khater, M., Hassan, A., & El-Bassiouny, H. (2023). Effect of yeast extract (*Saccharomyces cerevisiae*) on growth, yield and quality of lupine plants under sandy soil. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 14(3), 345–355.

Shillo, R., Ding, M., Pasternak, D., & Zaccai, M. (2002). Effect of salinity on growth and flowering of *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*). *Scientia Horticulturae*, 93(4), 311–321. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00035-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00035-9)

Shimizu-Yumoto, H. (2010). Postharvest physiology and technology of cut Eustoma. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 79(3), 227–236. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjshs1/79/3/79_3_227/_pdf

Shorrocks, V. M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193(1–2), 121–148. <https://doi.org/10.1023/A:1004216126069>

Skutnik, E. (2021). Effects of postharvest treatments with nanosilver on cut lisianthus. *Agronomy*, 11(2), 215. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020215>

Smoleń, S. (2018). Biofortification of plants with iodine: Possibilities and challenges. *Agronomy*, 8(9), 185. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090185>

Smoleń, S., Ledwożyw-Smoleń, I., Halka, M., Sady, W., & Kováčik, P. (2020). The role of iodine in plant nutrition and physiological processes. *Plants*, 9(4), 482. <https://doi.org/10.3390/plants9040482>

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.

Takii Seed Co. (2024). Lisianthus F1 Advantage™ series: Culture sheet (cut flower production guide). <https://takii.com/wp-content/uploads/2024/09/Lisianthus-Advantage-Series-Culture-Sheet-Rev-A.pdf>

Taylor, J. D., Brown, P. H., & White, P. J. (2023). Cobalt: An essential micronutrient for plant growth? *Plants*, 12(21), 3615. <https://doi.org/10.3390/plants12213615>

Tejeda-Sartorius, O., Ríos-Barreto, Y., Trejo-Téllez, L. I., & 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

The Pharma Journal. (2023). Effect of micronutrients on growth and flower yield of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) under Prayagraj agro-climatic conditions. *The Pharma Journal*, 12(11), 628–634.

Trendeconomy. (2023). Cut flowers, flower buds—Top exporters 2023. https://trendeconomy.com/data/commodity_h2/0603

Valdez-Aguilar, L. A., & Reed, D. W. (2010). Response of *Eustoma grandiflorum* to nitrogen and potassium fertilization under greenhouse conditions. *HortScience*, 45(11), 1667–1673. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.11.1667>

Valdez-Aguilar, L. A., Grieve, C. M., & Poss, J. A. (2013). Response of lisianthus to irrigation with saline water. *HortScience*, 48(5), 546–552. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.5.546>

Valdez-Aguilar, L. A., Grieve, C. M., Poss, J. A., & Cárdenas-Navarro, R. (2014). Ionic interactions and mineral nutrition of lisianthus irrigated with saline water. *Scientia Horticulturae*, 170, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.03.006>

Valdivia Montes, S. D. (2017). Crecimiento y desarrollo de plantas de *Solanum lycopersicum* y *Eustoma grandiflorum* en respuesta a nanopartículas de óxido de zinc y mezclas de sustratos (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila, México.

Van Hoewyk, D. (2013). A tale of two toxicities: Malformed selenoproteins and oxidative stress both contribute to selenium stress in plants. *Annals of Botany*, 112(6), 965–972. <https://doi.org/10.1093/aob/mct163>

Vargas, M. F., Mestre, M. V., Vergara, C., Maturano, P., Pettrignani, D., Pesce, V., & Vázquez, F. (2024). Residual brewer's *Saccharomyces cerevisiae* yeasts as biofertilizers in

horticultural seedlings: Towards a sustainable industry and agriculture. *Frontiers in Industrial Microbiology*, 2, Article 1360263. <https://doi.org/10.3389/finmi.2024.1360263>

Verma, K. K., Singh, P., Song, X. P., Li, D. M., & Yang, Y. Z. (2024). Silicon-mediated regulation of growth, water relations and stress tolerance in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, 1–14.

Wang, X. (2024, May 29). China world's number one in flower & plant production scale: Survey. *China Economic Net*. https://en.ce.cn/Insight/202405/29/t20240529_39020178.shtml

Wolcan, S. M., Lori, G. A., & Larran, S. (2001). *Fusarium solani* causing stunt and basal rot of lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) in Argentina. *Fitopatología Brasileira*, 26(4), 710–714. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582001000400019>

Yadav, G. S. (2020). Cobalt in soils and plants: Physiological role and toxicity. *Agronomy*, 10(9), 1290. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091290>

Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

Zahid, M., Abbas, T., Ahmad, A., & Akram, N. A. (2024). Oxidative stress and floral growth limitation under excess micronutrient supply. *Plant Stress*, 11, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100257>

Zahid, M., Abbas, T., Ahmad, A., & Akram, N. A. (2024). Heavy metal-induced oxidative stress and its implications on plant growth. *Plant Physiology and Biochemistry*, 204, 108112.

Zhang, X., Wang, Y., Li, Y., Chen, Q., & Lu, N. (2022). Sodium selenite improves the vase life of *Eustoma grandiflorum* cut flowers. *HortScience*.

https://hortsci.agriculturejournals.cz/artkey/hor-202204-0007_sodium-selenite-improves-the-vase-life-of-Eustoma-grandiflorum-cut-flowers.php

Zhang, Y., Wang, W., Chen, J., & Li, H. (2023). A review of iodine in plants with biofortification: Uptake, accumulation, transportation, function and toxicity. *Science of the Total Environment*, 857, 159385.

Zhou, X., Gao, Z., & Shen, Q. (2019). Reductive soil disinfestation to control Fusarium wilt in ornamental lisianthus. *Applied Soil Ecology*, 143, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.014>