

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



Respuesta Fisiológica y Calidad Comercial de *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum*) ante la Aplicación de Elementos Benéficos y Extracto de Levadura bajo Condición de Estrés Abiótico

Por:

JOSE MANUEL ALVAREZ MORIN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

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

Respuesta Fisiológica y Calidad Comercial de Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*)
ante la Aplicación de Elementos Benéficos y Extracto de Levadura bajo Condición
de Estrés Ábiotico

Por:


JOSE MANUEL ALVAREZ MORIN

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



M.C. FIDEL MAXIMIANO PEÑA RAMOS
Coasesor



DR ALBERTO SANDOVAL RANGEL
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México
Junio 2026

DERECHOS DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.



JOSÉ MANUEL ÁLVAREZ MORÍN

Autor Principal

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por siempre ser mi guía y darme la oportunidad de vivir cada día.

A mi Alma Mater

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por otorgarme instalaciones, salones, maestros, compañeros, comedor, centro deportivo, experiencias y vivencias únicas, por ser la mejor en todo México y hacerme sentir abrazado y como si fuera mi casa. Un legado del Sr. Antonio Narro y su hna. Trinidad Narro, que gracias a ellos muchos estudiantes como yo hemos logrado una meta profesional con el fin de impulsar el campo mexicano.

A mi padre

Manuel Ernesto Álvarez Márquez por su apoyo en mi trayectoria universitaria y no dejarme solo. Agradezco por sus regaños y enseñanzas que me han formado como persona, por su experiencia compartida ya que sin él no habría aprendido muchas cosas que hoy sé, el mejor maestro.

A mi madre

Verónica Morín Díaz por siempre ser mi luz y tranquilidad en mis momentos más vulnerables, por darme la calidez que un hijo necesita de su madre, gracias por los consejos y regaños, por los valores que me has priorizado, por enseñarme lo que significa el orden y ser independiente.

A mi hermana

Por su acompañamiento, aunque a pesar de que estuviéramos lejos siempre estuvo para despejarnos de nuestras vidas, por todas las vivencias en conjunto y por ser compañera de vida.

A mi familia materna

Tía Blanca Morín Díaz y Flavio Hernández por ser un apoyo siempre para mí y considerarme siempre, a pesar de la distancia siempre estuve agradecido por darme su mano las veces que lo necesité.

A mi novia

Abril Esmeralda Martínez Torres por ser un gran apoyo para mí, más que mi pareja, mi equipo, gracias por esos días de trabajo duro que hasta tarde salíamos de la universidad, gracias por las experiencias y conocimientos compartidos, por ser mi mejor amiga durante mi última etapa universitaria.

A mi asesor

Dr. José Antonio González Fuentes por el apoyo brindado en mis últimos semestres de la carrera, el espacio otorgado en mis proyectos y su aporte hacia mi conocimiento para mi carrera profesional.

A la jefa de carrera

Dra. Laura García Luna por ser una excelente persona como siempre brindando el apoyo a todos los estudiantes y por el conocimiento impartido en las clases.

A mi profesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera por el espacio brindado para uno de mis proyectos dentro del plantel, su apoyo y consejos, el conocimiento compartido y otra forma de ver el agro.

Al Instituto Mexicano del Maíz

Al M.C Eduardo Hernández Alonso por su amistad, apoyo y enseñanzas dentro del campo, por las experiencias vividas y conocimiento compartido siempre. Al ing. Raúl Gándara Huitrón por los consejos y aprendizajes, conocimiento y apoyo durante mi estancia en la carrera. Al Ing. Gustavo Alfonso Burciaga por darnos el espacio y conocimiento dentro del servicio social en el instituto.

A mis amigos

Emmanuel García Carnalla, Darío Rodríguez, Josué García, Alejandro Ávila, Fernando Cortéz, Emmanuel San Juan, Brayan Reyes, Alejandro Pérez, Adair Bárcenas, Wendy Pérez, Esli Sulem Mondragón, Ileana Sánchez, Rafael Cortéz, Zayra Reséndiz, por formar parte de mi grupo de amistades, cada uno sabe las vivencias compartidas durante toda la carrera, gracias por los buenos momentos vividos.

A las personas que conocí y me ayudaron

A la señora Perla Esmeralda Torres por darme su apoyo y adoptarme en su casa en mis últimos días de estancia en Saltillo, agradezco cada plato de comida que me ofreció y su disposición de ayudarme en todo momento.

Además, agradezco a todas las personas que en algún punto de la carrera me ofrecieron su mano cuando más lo necesité, todas las veces que me ofrecieron un plato de comida, auxilio o reconfortación.

INDICE GENERAL

DEDICATORIAS	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
INDICE GENERAL.....	6
INDICE DE CUADROS.....	7
INDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
HIPOTESIS.....	9
REVISION DE LITERATURA	9
ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO.....	9
<i>ORIGEN E HISTORIA.....</i>	<i>9</i>
<i>PRODUCCION MUNDIAL.....</i>	<i>10</i>
<i>PRODUCCIÓN NACIONAL.....</i>	<i>10</i>
CLASIFICACION TAXONOMICA DEL CULTIVO.....	11
CARACTERISTICAS BOTANICAS DEL CULTIVO	11
<i>SISTEMA RADICAL.....</i>	<i>11</i>
<i>TALLO</i>	<i>11</i>
<i>HOJA.....</i>	<i>11</i>
<i>FLOR.....</i>	<i>11</i>
<i>SEMILLA.....</i>	<i>12</i>
REQUERIMIENTOS EDAFOLOGICOS	12
<i>SUELO.....</i>	<i>12</i>
<i>TEMPERATURA.....</i>	<i>12</i>
<i>RIEGO</i>	<i>12</i>
<i>NUTRICION</i>	<i>12</i>
ELEMENTOS BENÉFICOS.....	13
<i>SILICIO</i>	<i>13</i>
<i>YODO.....</i>	<i>13</i>
<i>EXTRACTO DE LEVADURA.....</i>	<i>14</i>
<i>SELENIO.....</i>	<i>14</i>
PROBLEMATICA: SALINIDAD EN ORNAMENTALES DE CORTE.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
SITIO EXPERIMENTAL	16
MATERIAL VEGETAL	16
DISEÑO EXPERIMENTAL	16
TRATAMIENTOS	17
FUENTES QUIMICAS	17
VARIABLES EVALUADAS	18
<i>Variables de crecimiento vegetativo</i>	<i>18</i>
<i>Variables reproductivas y calidad floral</i>	<i>18</i>
ANALISIS ESTADISTICO	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
DIÁMETRO DE TALLO	21
NÚMERO DE HOJAS.....	23
NÚMERO DE BOTONES FLORALES.....	25

DIAMETRO ECUATORIAL DE LA FLOR	27
DIAMETRO POLAR DE LA FLOR	29
LONGITUD DEL PEDUNCULO DE LA FLOR	31
DIAMETRO DEL PEDUNCULO DE LA FLOR.....	33
LARGO DE HOJA.....	35
ANCHO DE HOJA.....	38
CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de <i>E. grandiflorum</i>	11
Cuadro 2. Tratamientos evaluados y dosis en <i>E. grandiflorum</i>	17
Cuadro 3. Fuentes químicas usadas para los tratamientos en <i>E. grandiflorum</i>	17
Cuadro 4. Variables vegetativas y su respectiva unidad de medición.....	18
Cuadro 5. Variables reproductivas y calidad floral con su respectiva unidad de medición.....	18

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta <i>E. grandiflorum</i>	19
Figura 2. Diámetro de tallo en <i>E. grandiflorum</i>	21
Figura 3. Número de hojas en <i>E. grandiflorum</i>	23
Figura 4. Número de botones florales en <i>E. grandiflorum</i>	25
Figura 5. Diámetro ecuatorial de la flor de <i>E. grandiflorum</i>	27
Figura 6. Diámetro polar de la flor de <i>E. grandiflorum</i>	30
Figura 7. Longitud del pedúnculo de <i>E. grandiflorum</i>	32
Figura 8. Diámetro de la flor de <i>E. grandiflorum</i>	34
Figura 9. Largo de hoja de <i>E. grandiflorum</i>	36
Figura 10. Ancho de hoja de <i>E. grandiflorum</i>	38

INTRODUCCIÓN

Eustoma grandiflorum (Raf.) Shinnery, comúnmente conocido como Lisianthus o “rosa japonesa”, se ha consolidado en las últimas décadas como una de las especies ornamentales de mayor valor en el mercado internacional de flor de corte, debido a su amplia gama cromática, arquitectura floral elegante y prolongada vida en florero. Debido a sus imprescindibles rasgos es la razón por la cual destaca como un producto con alta demanda en arreglos florales y eventos únicos, localizándose en mercados exigentes de calidad comercial.

En México, el Lisianthus fue introducido a finales de la década de 1990 y, aunque su demanda ha mostrado una tendencia creciente, su producción continúa siendo limitada. Esta restricción se asocia principalmente a la escasez de información científica aplicada relacionada con su fisiología, manejo nutricional y respuesta a factores de estrés abiótico, así como a la falta de registros estadísticos específicos que permitan evaluar con precisión su desempeño productivo y económico

A nivel internacional, la especie ha sido catalogada como una de las flores de corte más exitosas de los últimos 30 años, con una fuerte presencia en países como Japón, Estados Unidos y diversas naciones europeas, donde el mejoramiento genético y la optimización de la calidad floral han sido prioritarios.

A pesar de los avances en mejoramiento genético y nutrición mineral convencional, persisten limitantes asociadas al estrés abiótico, particularmente la salinidad y los desbalances iónicos, los cuales afectan la absorción de agua, la homeostasis mineral, la integridad de membranas celulares y el balance redox, provocando reducciones significativas en el crecimiento vegetativo y en los parámetros de calidad comercial de la flor. En este contexto, los elementos benéficos han emergido como una estrategia agronómica prometedora para mitigar los efectos negativos del estrés y mejorar la eficiencia fisiológica de las plantas.

Elementos como el Silicio (Si), Selenio (Se), Cobalto (Co), Yodo (I) y otros compuestos bioestimulantes han demostrado, en diferentes especies, un papel relevante en la activación de sistemas antioxidantes, la mejora de la eficiencia en el uso del agua, el mantenimiento de la homeostasis iónica y el fortalecimiento estructural de tejidos vegetales. En particular, el silicio ha sido ampliamente documentado como un modulador de la tolerancia a la salinidad mediante el incremento de la actividad de enzimas antioxidantes y la reducción del daño oxidativo (Castellanos et al., 2015; Tahir et al., 2011). De manera complementaria, el selenio y el cobalto han mostrado efectos positivos en la regulación metabólica y en la respuesta al estrés, aunque su acción depende estrechamente de la dosis y la forma de aplicación (Hu et al., 2021).

No obstante, la evidencia científica sobre el uso de elementos benéficos en especies ornamentales, y particularmente en Lisianthus, sigue siendo limitada, especialmente bajo condiciones de estrés abiótico. Esta brecha de conocimiento justifica la necesidad de investigaciones que evalúen de manera sistemática la respuesta fisiológica y productiva de *Eustoma grandiflorum* ante la aplicación de dichos elementos, con el fin de generar estrategias agronómicas sustentables que permitan mejorar la calidad floral y la competitividad del cultivo.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la aplicación de elementos benéficos sobre la respuesta fisiológica, el crecimiento y los parámetros de calidad comercial de *Eustoma grandiflorum*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el impacto de los elementos benéficos en variables fisiológicas asociadas a la tolerancia al estrés abiótico, incluyendo eficiencia en el uso del agua y actividad antioxidante.

Analizar los cambios en los parámetros de calidad comercial y postcosecha del *Lisianthus* derivados de la aplicación de elementos benéficos.

HIPOTESIS

La aplicación de elementos benéficos en *Eustoma grandiflorum* mejora la homeostasis mineral y la respuesta antioxidante de la planta, lo que se traduce en un mayor crecimiento vegetativo, una mejor calidad comercial de la flor y una mayor tolerancia al estrés abiótico en comparación con plantas no tratadas.

REVISION DE LITERATURA

ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO

ORIGEN E HISTORIA

De acuerdo a la etimología, el nombre científico del *Eustoma grandiflorum* (*lisianthus*) perteneciente a la familia *Gentianaceae* deriva de los vocablos griegos *eu*, que se interpreta como “bello” y *stoma* el cual hace referencia a “boca” o “estructura con apertura” (Subash et al.,2025).

Geográficamente la población de esta especie conocida también como "campanillas de Texas", tiene lugar dentro del territorio americano, sin embargo, su auge en el mercado de la floricultura tuvo lugar al rededor del año de 1933 en Japón, en donde se convirtió en un producto ornamental de lujo (Kumaresan et al.,2024).

El género comprende principalmente dos especies parcialmente simpátricas: *Eustoma exaltatum* y *Eustoma russeallianum* se distribuye principalmente en el sur de Estados Unidos hasta México, Centroamérica y las Indias Occidentales, donde se desarrolla como especie perenne. Por su parte, *E. russellianum* se distribuye principalmente en el sur de Estados Unidos y México, posee flores de mayor tamaño y un ciclo de vida bianual. Originalmente, el *lisianthus* crecía de forma silvestre en praderas, zonas semiáridas y áreas con drenaje moderado del sur de Estados Unidos y el norte de México. A partir de la segunda mitad del siglo XX (Turner., 2014).

PRODUCCION MUNDIAL

La producción mundial de lisianthus es un apartado complicado, no existe una estadística global tan consolidada como ocurre con rosas, claveles o crisantemos.

Eustoma grandiflorum (lisianthus) se ha consolidado como una de las especies ornamentales de corte de mayor crecimiento comercial durante las últimas décadas debido a la elegancia de sus flores, la amplia diversidad de colores disponibles y su prolongada vida postcosecha. Estas características han favorecido su incorporación en mercados internacionales de floricultura, donde es utilizado tanto en arreglos florales de alto valor como en la producción de plantas ornamentales en maceta.

Entre los principales países productores y consumidores de lisianthus destaca Japón, nación que ha desempeñado un papel fundamental en el mejoramiento genético y en la expansión comercial de la especie. Asimismo, su cultivo se encuentra ampliamente distribuido en países con una industria florícola desarrollada, como en Países Bajos, Estados Unidos, Israel, Colombia y Ecuador, donde se produce para abastecer mercados nacionales e internacionales.

La creciente demanda de flores de alta calidad ha impulsado el desarrollo de nuevos cultivares con variaciones en color, forma, tamaño floral y resistencia a factores ambientales adversos. Como resultado, el lisianthus se ha posicionado entre las especies ornamentales más apreciadas en el comercio especializado de flores de corte, particularmente en mercados que valoran características de calidad como uniformidad, tamaño de flor y duración en florero.

Actualmente la producción de lisianthus continúa explorándose debido a su valor ornamental, siendo una alternativa rentable para productores especializados en flores de corte calidad premium.

PRODUCCIÓN NACIONAL

La floricultura constituye una actividad agrícola de importancia económica en México, presentando un crecimiento sostenido durante las últimas décadas debido a la creciente demanda de especies ornamentales para mercados nacionales e internacionales. La producción se concentra principalmente en los estados de Estado de México, Jalisco, Morelos, Puebla y Michoacán, siendo el Estado de México la entidad líder en volumen de producción y en el cultivo de diversas especies ornamentales de alto valor comercial, entre ellas rosa, gerbera, crisantemo, gladiola y liliun (Maldonado-Cabrera et al., 2023).

Dentro de este sector, el cultivo de *Eustoma grandiflorum* (lisianthus) ha adquirido relevancia debido a la elevada calidad estética de sus flores, su amplia diversidad de colores y su aceptación en el mercado de flor de corte. Aunque su superficie cultivada es menor en comparación con especies tradicionales como rosa o crisantemo, representa una alternativa productiva de interés para los sistemas de agricultura protegida debido a su elevado valor comercial y a la posibilidad de programar su producción durante gran parte del año.

CLASIFICACION TAXONOMICA DEL CULTIVO

Siendo una especie silvestre, encontramos que *lisianthus* pertenece a la familia Gentianaceae en su respectiva clasificación taxonómica (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *E. grandiflorum*

Reino: Plantae
Filo: Tracheophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Gentianales
Familia: Gentianaceae
Género: Eustoma
Forma: <i>Eustoma grandiflorum</i>

CARACTERISTICAS BOTANICAS DEL CULTIVO

SISTEMA RADICAL

El sistema radical del *Eustoma grandiflorum* (*lisianthus*) es fundamentalmente una raíz pivotante o axonomorfa poco profunda, altamente ramificada, de color blanco y de naturaleza sumamente frágil y delicada. Es una estructura muy sensible a la manipulación, al exceso de humedad y a la falta de oxígeno (Becerra., 2016).

TALLO

El tallo del *Eustoma grandiflorum* (*lisianthus*) es herbáceo, erecto, monopódico y rígido. Mide entre 40 cm y 90 cm de altura y entre 3 mm y 6 mm de diámetro, ramificándose hacia la mitad superior para sostener múltiples flores (Ayala., 2016).

HOJA

Las hojas de *Eustoma grandiflorum* (comúnmente conocido como *lisianthus*) son lanceoladas u oblongas, ligeramente suculentas y de un característico tono verde grisáceo o azulado. Tienen una textura cerosa y abrazan directamente el tallo al ser sésiles.

FLOR

Grandes flores parecidas a las gencianas (de hasta 5 cm de diámetro) con lóbulos acampanados de color púrpura pálido, florecen en verano en las axilas de las hojas superiores. Presenta flores rosas, blancas y de color púrpura pálido desde el verano hasta la primera helada.

SEMILLA

La semilla de *Eustoma grandiflorum* (*lisianthus*) destaca por su tamaño microscópico y su fotoblastismo positivo. Se trata de un embrión muy pequeño rodeado de reservas nutritivas, con una cubierta externa diseñada para germinar únicamente en condiciones de alta humedad, temperaturas moderadas y exposición a la luz.

REQUERIMIENTOS EDAFOLOGICOS

SUELO

El *lisianthus* resulta ser exigente en cuanto nos referimos al cultivo en suelo. Prefiere suelos con textura preferentemente con una textura arenosa y con gran cantidad de materia orgánica proporcionando una buena conductividad al drenaje evitando acumulación de agua. No es un cultivo tolerante a la salinidad es por eso que se debe hacer un buen monitoreo de M.O y salinidad en el suelo. En cuanto al pH prefiere un índice neutral-alcálico, 6.5 y 7.5. Conductividad eléctrica sobre 1mmhos/cm

TEMPERATURA

Lisianthus se caracteriza por ser un cultivo bianual. Prefiere una temperatura diurna de entre 30-35° Celsius como máximo y nocturna de 20-15° Celsius, es muy común la fisiopatía de arrosamiento en su etapa inicial. La temperatura óptima de desarrollo es de 23°C y 18°C. Se prefiere un porcentaje de 25-30% de humedad relativa en el ambiente para su correcto crecimiento.

RIEGO

El cultivo opera de manera preferente con sistema de riego por goteo para evitar encharcamiento siempre y cuando se revise la demanda hídrica y el coeficiente DPV dentro del invernadero o sistema de producción para evitar problemas futuros con presencia de plagas y enfermedades. El sistema de riego por goteo mejora la eficiencia de aplicación de nutrientes, sin embargo es necesario realizar lavados de cintilla para evitar la acumulación de sales.

NUTRICION

En su etapa inicial requiere mayor contenido de fósforo. En su ciclo vegetativo la nutrición cambia hacia la formación de follaje con N en una relación 5:1 para finalmente realizar la inducción floral con K.

ELEMENTOS BENÉFICOS

SILICIO

El Silicio (Si) es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, siendo este un factor favorable para darle un uso interesante dentro de la agricultura. No es considerado como tal un elemento esencial para las plantas, pero sí como un elemento benéfico el cual se define como un mineral o compuesto que estimula y mejora el crecimiento, desarrollo y salud para las plantas, particularmente estos elementos han sido investigados para resolver algunas problemáticas presentadas en la producción de hortalizas, granos u ornamentales. La forma disponible para la planta se encuentra como ácido monosilícico (H_4SiO_4).

Las funciones que más destacan del silicio van en el fortalecimiento de las paredes celulares, una mayor rigidez mecánica de los tejidos, reducción en la pérdida de agua, mejora de la fotosíntesis, incremento de la eficiencia en el uso del agua y como resultado una estimulación del crecimiento vegetal. Así mismo este elemento participa en mecanismos fisiológicos relacionados con la resistencia frente a factores bióticos y abióticos, incluyendo sequía, altas temperaturas, toxicidad por metales y salinidad, el silicio suministrado en diferentes formas químicas, fortifica los tejidos vegetales contribuyendo a mantener el rendimiento de los cultivos bajo condiciones adversas (Siddiqi et al., 2025).

El efecto que posee silicio sobre plantas afectadas por la salinidad es favorable siempre y cuando se mantenga en las condiciones óptimas para su desempeño. Entre sus mecanismos descritos podemos encontrar que silicio reduce la absorción excesiva de Na^+ , favorece la absorción de K^+ , mantiene un equilibrio iónico, disminuye estrés oxidativo, incrementa actividad enzimática de antioxidantes, protege las membranas celulares, todo esto dando un resultado favorable mejorando el estado hídrico de la planta para así lograr un favorable crecimiento y rendimiento aún en condiciones de salinidad.

YODO

El Yodo (I) es un micronutriente considerado como un elemento benéfico para las plantas, aunque no ha sido clasificado universalmente como un elemento esencial. Las investigaciones recientes han demostrado que su aplicación en concentraciones adecuadas puede estimular procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento, productividad y tolerancia al estrés ambiental (Kiferle et al., 2021).

La forma principal de absorción de yodo por las plantas en su forma química es en yoduro (I^-) o yodato (IO_3^-), siendo este último una de las fuentes más utilizadas en aplicaciones agronómicas debido a su estabilidad química. Una vez absorbido este elemento puede incorporarse a distintos tejidos vegetales e influir en procesos metabólicos asociados con la actividad antioxidante, el metabolismo del nitrógeno y la regulación de compuestos bioactivos (Kiferle et al., 2021).

Se comenta que otro aspecto que hace relevante al yodo es la capacidad que posee al fortalecer sistemas antioxidantes celulares, bajo condiciones de estrés, las plantas generan ROS que pueden ocasionar daños en membranas, proteínas y ac. Nucleicos. Suplementar con yodo puede reducir

parcialmente dichos efectos mediante defensa antioxidante, favoreciendo una estabilidad fisiológica de los tejidos.

EXTRACTO DE LEVADURA

El extracto de levadura es relevante principalmente por ser un bioestimulante natural ampliamente utilizado en la agricultura debido a la capacidad que posee para promover un crecimiento vegetal adecuado además de mejorar la recuperación por estrés y respuesta de las plantas. Se obtiene a partir de células de *Saccharomyces cerevisiae*, las cuales han sido identificadas como que poseen una alta concentración de aminoácidos, proteínas, vitaminas, carbohidratos, minerales y metabolitos secundarios que participan en gran parte de los procesos fisiológicos del desarrollo vegetal, siendo particularmente interesante para mitigar efectos de estrés abiótico.

La aplicación del extracto de levadura ha sido asociada con incrementos en el nivel de biomasa, desarrollo vegetativo y acumulación de carbohidratos. Gracias a la cantidad de compuestos orgánicos aprovechables para la planta, así como presencia de sustancias con actividad similar a reguladores de crecimiento que estimulan procesos relacionados con la división y elongación celular.

La composición química de la levadura también representa una fuente importante de compuestos orgánicos. Se ha reportado la presencia de aminoácidos como ácido aspártico, ácido glutámico, serina, histidina, arginina y prolina, los cuales participan en diversos procesos metabólicos relacionados con el crecimiento vegetal y la respuesta frente a condiciones de estrés (Vázquez et al., 2022).

SELENIO

El Selenio (Se) es un elemento bastante reconocido por sus efectos benéficos en organismos vivos como los animales, últimamente ha sido destacado en el interés agrícola, caracterizado por los efectos positivos que posee en el crecimiento, desarrollo y tolerancia al estrés en diversas especies vegetales. Aunque no se considera un elemento esencial para la mayoría de las plantas, se han considerado investigaciones donde mencionan que bajas dosis de selenio pueden favorecer distintos procesos fisiológicos y metabólicos relacionados con la productividad y la calidad de los cultivos.

Las principales formas químicas de selenio absorbidas por las plantas son el selenato (SeO_4^{2-}) y el selenito (SeO_3^{2-}). De acuerdo con Wang et al. (2025), la absorción de estas formas depende en gran medida de las características del suelo. El selenato es absorbido principalmente mediante transportadores asociados al azufre, mientras que el selenito utiliza mecanismos relacionados con la absorción de fósforo. Debido a esta interacción, la disponibilidad y asimilación del selenio pueden verse influenciadas por la nutrición mineral de la planta.

Entre los efectos más importantes atribuidos al selenio destaca su participación en mecanismos de protección frente al estrés oxidativo. Bajo condiciones adversas, como salinidad, sequía o temperaturas extremas, las plantas incrementan la producción de especies reactivas de oxígeno que pueden causar daños en membranas celulares, proteínas y otros componentes metabólicos.

Diversos estudios han demostrado que la suplementación con selenio favorece la actividad de los sistemas antioxidantes, contribuyendo a mantener la estabilidad fisiológica de los tejidos vegetales.

PROBLEMATICA: SALINIDAD EN ORNAMENTALES DE CORTE

La salinidad resulta ser uno de los principales factores abióticos limitando la producción agrícola a nivel mundial, afectando al crecimiento vegetativo en la mayoría de cultivos, así como en la calidad comercial de diversos cultivos ornamentales. Dicho problema siendo resultado de la acumulación excesiva de sales solubles en el suelo o agua de riego, el cual se ve favorecida por prácticas agrícolas inadecuadas, exceso de uso de fertilizante y falta de determinación de concentración de sales en la fuente de agua.

En su mayoría las sales con mayor frecuencia aparecen como cloruros, sulfatos de sodio y magnesio, los cuales incrementan la conductividad eléctrica y la presión osmótica de la solución del suelo (Mata – Fernández et al., 2014). Siendo así consecuencias como dificultad de las plantas para la absorción de agua aun cuando esta se encuentre disponible en el suelo, a este fenómeno se le denomina “sequia fisiológica”. Condición por la cual se ve alterado el estado hídrico de los tejidos limitando procesos esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal (Zaman et al., 2018).

Además del componente osmótico, la salinidad genera toxicidad iónica y estrés oxidativo, afectando la integridad celular y el funcionamiento metabólico de las plantas. A nivel fisiológico, la acumulación de sales puede alterar procesos bioquímicos relacionados con la producción y la utilización de energía, reduciendo recursos necesarios para el crecimiento y la formación de órganos reproductivos (Mata – Fernández et al., 2014). El estrés salino también favorece la generación de especies reactivas de oxígeno, ocasionando daños en membranas celulares, proteínas y estructuras fotosintéticas (Acosta – Motos et al., 2015).

Como mecanismo de respuesta, las plantas activan mecanismos de defensa tales como síntesis de metabolitos secundarios, compuestos antioxidantes y sustancias osmoprotectoras que contribuyen a reducir el daño celular ocasionado por estrés salino (Jan et al., 2021; Thakur et al., 2019). Sin embargo, si la intensidad del estrés supera esta capacidad de recuperación, se producen reducciones significativas en variables de crecimiento que determinan producción y calidad ornamental.

En ornamentales, la salinidad representa un gran problema debido a la poca tolerancia que poseen gran parte de las especies, afectando aspectos morfológicos tales como altura de planta, tamaño de flores, longitud de pedúnculo, calidad visual del follaje. Es por esto que se ha buscado estrategias funcionales para mitigar estos efectos ocasionados por NaCl, ya que en la actualidad muchos suelos poseen esta característica que impide lograr una producción rentable, siendo así la importancia del uso de inductores fisiológicos o elementos benéficos los cuales en los últimos años han tomado relevancia como desarrollo en los sistemas de producción ornamental.

MATERIALES Y MÉTODOS

SITIO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en el invernadero del departamento de Horticultura dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Saltillo, Coahuila, México (Coordenadas 5.355622 °N, -101.036532 °W; a 1758 msnm). El municipio de Saltillo se caracteriza por un clima templado semiseco, con temperaturas moderadas y precipitaciones concentradas principalmente en los meses de verano. La temperatura media anual de la región oscila alrededor de 18°C, con veranos cálidos y lluvia entre junio y septiembre.

El régimen de lluvias suele ser limitado y las condiciones son predominantemente secas, causando un ambiente con baja humedad relativa y alta radiación solar, típico de zonas semidesérticas del noreste de México. Las condiciones climáticas son importantes para comprender el comportamiento del cultivo mediante la respuesta fisiológica durante el desarrollo del experimento.

MATERIAL VEGETAL

Para este experimento se utilizaron plántulas de *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* [Var.] *Excalibur blue*) establecidas en maceta de 1.5 L, utilizando una mezcla 1:1 (v/v) de peat moss y perlita. Al momento del trasplante se seleccionaron las plántulas con características de crecimiento homogéneo reduciendo la variabilidad inicial asegurando una respuesta uniforme en la aplicación de los tratamientos.

DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se determinó con un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial (BCA x AF). Los componentes evaluados fueron la aplicación de elementos benéficos y la condición de salinidad. Fueron evaluados cinco tratamientos nutricionales (Silicio, Yodo, Extracto de levadura, Selenio y Testigo) bajo dos condiciones de producción (Salino y no salino inducida por (NaCl), generando un total de diez tratamientos.

Cada tratamiento comprendió cuatro repeticiones (bloques), considerando cada maceta como unidad experimental. Las macetas fueron distribuidas aleatoriamente dentro del invernadero reduciendo el efecto de la variabilidad ambiental durante el desarrollo del experimento.

TRATAMIENTOS

Se evaluaron diez tratamientos (**Cuadro 2**) divididos en cuatro bloques en condición con salinidad y sin salinidad.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados y dosis en *E. grandiflorum*.

Tratamiento	Descripción	Dosis
T1	Silicio sin salinidad	1 g L ⁻¹
T2	Silicio con salinidad	1 g L ⁻¹ + 50 mM NaCl
T3	Yodo sin salinidad	20 ppm
T4	Yodo con salinidad	20 ppm + 50 mM NaCl
T5	Extracto de levadura sin salinidad	12 g L ⁻¹
T6	Extracto de levadura con salinidad	12 g L ⁻¹ + 50 mM NaCl
T7	Selenio sin salinidad	4 ppm
T8	Selenio con salinidad	4 ppm + 50 mM NaCl
T9	Testigo sin salinidad	SIN DOSIS
T10	Testigo con salinidad	50 mM NaCl

El efecto de la salinidad fue inducido mediante adición de cloruro de sodio (NaCl) en la solución nutritiva. El Silicio (Si) fue aplicado vía foliar mientras que Yodo (I), Selenio (Se) y extracto de levadura fueron aplicados mediante riego. El tratamiento usado como testigo no recibió la aplicación de elementos benéficos.

FUENTES QUIMICAS

Para el suministro de elementos benéficos se emplearon diversas fuentes químicas (**Cuadro 3**) encontradas en productos comerciales.

Cuadro 3. Fuentes químicas usadas para los tratamientos en *E. grandiflorum*

TRATAMIENTO	FUENTE QUIMICA	FORMULA
Silicio	Dióxido de silicio (Diatomix [®])	SiO ₂
Yodo	Yodato de potasio (Jalmek [®])	KIO ₃
Selenio	Selenito de sodio (Golden Bell [®])	Na ₂ SeO ₃
Extracto de levadura	Extracto de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Nevada [®])	YE

VARIABLES EVALUADAS

Variables de crecimiento vegetativo

Al momento de la cosecha se evaluaron las variables relacionadas con el crecimiento vegetativo (**Cuadro 4**) de las plantas. Dichas variables fueron medidas con dos tipos de instrumentos: regla centimetrada marca Baco ® y vernier digital marca ULINE México ®

Cuadro 4. Variables vegetativas y su respectiva unidad de medición.

Variable	Unidad de medición
Altura de planta	Centímetros
Diámetro de tallo	Milímetros
Número de hojas	Cantidad por unidad
Largo de hoja	Centímetros
Ancho de hoja	Centímetros

Variables reproductivas y calidad floral

Se registraron variables asociadas al desarrollo floral (**Cuadro 5**) justo en el punto de corte. Dichas variables fueron medidas con dos tipos de instrumentos: regla centimetrada marca Baco ® y vernier digital marca ULINE México ®

Cuadro 5. Variables reproductivas y calidad floral con su respectiva unidad de medición.

Variable	Unidad de medición
Número de botones florales	Cantidad por unidad
Diámetro ecuatorial de la flor	Milímetros
Diámetro polar de la flor	Milímetros
Longitud del pedúnculo floral	Centímetros
Diámetro del pedúnculo floral	Milímetros

ANALISIS ESTADISTICO

El resultado de los datos obtenidos se indujo a un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño experimental de bloques completos con arreglo factorial utilizando el software estadístico InfoStat software versión 2020.

Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), se realizó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para la separación de medias.

Los resultados se presentan mediante medias acompañadas de su error estándar y se representan gráficamente utilizando letras diferentes para indicar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ALTURA DE PLANTA

Se observaron diferencias estadísticas significativas en la altura de la planta entre los tratamientos (**Figura 1**). La prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) separó claramente los resultados en dos bloques: el grupo sin salinidad (letra A), integrado por los tratamientos desarrollados en condiciones óptimas (T1, T3, T5, T7, T9) que alcanzó las mayores alturas (49.86 - 54.98 cm), y el grupo (letra B) considerando plantas bajo estrés salino (T2, T4, T6, T8, T10) disminuyendo significativamente sus valores (35.67 - 40.91 cm). Individualmente, T3 (Yodato de potasio (KIO_3) sin salinidad) obtuvo el máximo desarrollo (54.98 cm), seguido por T5 (53.40 cm) y T7 (52.67cm) en contraste con el testigo salino (T10), que registró el valor más bajo (35.67 cm). Esta diferencia demuestra el impacto adverso del NaCl en el desarrollo de *Eustoma grandiflorum* (lisianthus). Cabe destacar que, aún bajo el efecto del estrés por salinidad, las plantas tratadas con silicio, yodo, selenio o extracto de levadura atenuó dicho estrés, superando la media del testigo salino, validando el potencial como agentes mitigadores frente a la toxicidad causada por condiciones salinas.

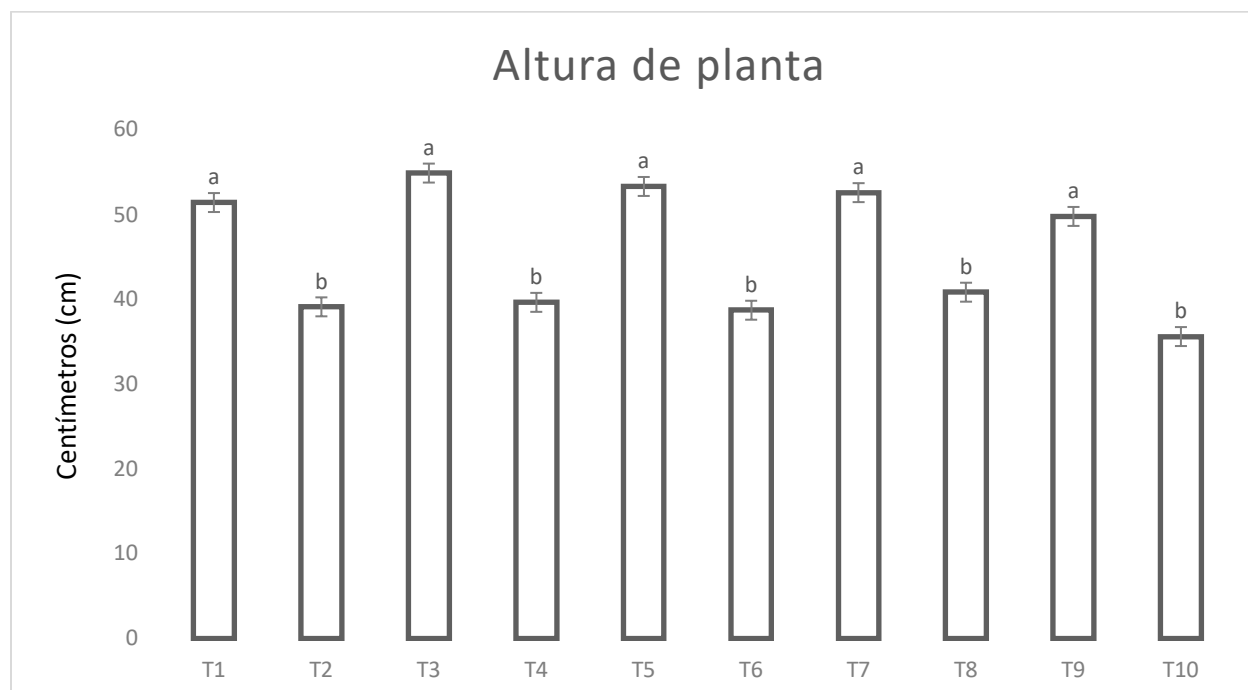


Figura 1. Altura de planta *E. grandiflorum*

Efecto de la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) sobre la altura de planta de *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) sometido a condiciones con y sin estrés salino (NaCl). Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). T1= Silicio Sin Sal, T2= Silicio Con Salinidad, T3= Yodo Sin Sal, T4= Yodo Con Salinidad, T5= Extracto de levadura Sin Sal, T6= Extracto de levadura Con Salinidad, T7= Selenio Sin Sal, T8= Selenio Con Salinidad, T9= Testigo Sin Sal, T10= Testigo Con Salinidad.

La reducción en la longitud de los tallos observada en los tratamientos bajo estrés por NaCl (Grupo B) refleja las alteraciones metabólicas típicas inducidas por salinidad; inicialmente la acumulación de sales en el sustrato desencadena un componente osmótico que abate el potencial hídrico de la zona radicular, restringiendo así la absorción de agua y comprometiendo la presión de turgencia

celular, inactivando sistemas enzimáticos vitales para la síntesis de proteínas y la fotosíntesis (Lu & Fricke., 2023).

En una segunda fase, el flujo transpiratorio promueve la acumulación fitotóxica de Na^+ y Cl^- en tejidos foliares, induciendo desequilibrio nutricional por antagonismo iónico con elementos esenciales como el K^+ y NO_3^- . Esto explica por qué el testigo salino (T10) exhibió el menor desarrollo vegetativo (35.67 cm), confirmando que *lisianthus* es una especie altamente sensible al estrés salino. Si bien las plantas de *lisianthus* activan respuestas endógenas de adaptación tales como el ajuste osmótico para la regulación del transporte iónico y la modulación de la elasticidad de la pared celular para preservar la turgencia, estas defensas conllevan un alto costo energético (Hasanuzzaman y Fujita., 2022).

Aunque estos mecanismos de defensa buscan salvaguardar la integridad celular, suelen ser insuficientes para sostener las tasas de división y expansión celular “normales”. Siendo evidenciado con el contraste del grupo control sin salinidad (Grupo A: 49.86 cm – 54.98 cm) y el grupo estresado (Grupo B: 35.67 – 40.91 cm). Bajo este escenario, la acción benéfica de los inductores cobra relevancia (Colin et al., 2023). Sugiriendo que compuestos como el silicio o selenio pudieron haber reforzado estructural o bioquímicamente las paredes celulares, amortiguando el colapso de la turgencia sin detener el crecimiento del tallo.

DIÁMETRO DE TALLO

En cuanto a la observación de la variable diámetro de tallo se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos (**Figura 2**). La prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) separó los resultados en bloques definidos: grupo libre de salinidad, donde lidera el tratamiento con extracto de levadura sin salinidad (T5, letra A) que alcanzó el máximo diámetro promedio con 5.07 mm, seguido por las variantes T1, T3 y T7 (Letra AB; promedios de 4.71 – 4.47 mm) y el testigo sin salinidad T9 (Letra B con 4.60 mm). En contraste, el bloque C consideró plantas bajo estrés salino con los valores más bajos, agrupando homogéneamente a los tratamientos T2, T4, T6, T8 y T10 significativamente (valores entre 3.78 – 4.09 mm), donde la aplicación de silicio bajo salinidad (T2) registró el diámetro mínimo con 3.78 mm. Está marcada diferencia demuestra el impacto adverso de NaCl en el crecimiento secundario y desarrollo de *Eustoma grandiflorum* (*lisianthus*). Destacando que, aunque las condiciones de salinidad suprimieron el grosor del tallo de manera generalizada, la evaluación de estos índices numéricos aporta información valiosa sobre la sensibilidad morfológica de la especie ante la toxicidad y el estrés osmótico causado por condiciones salinas.

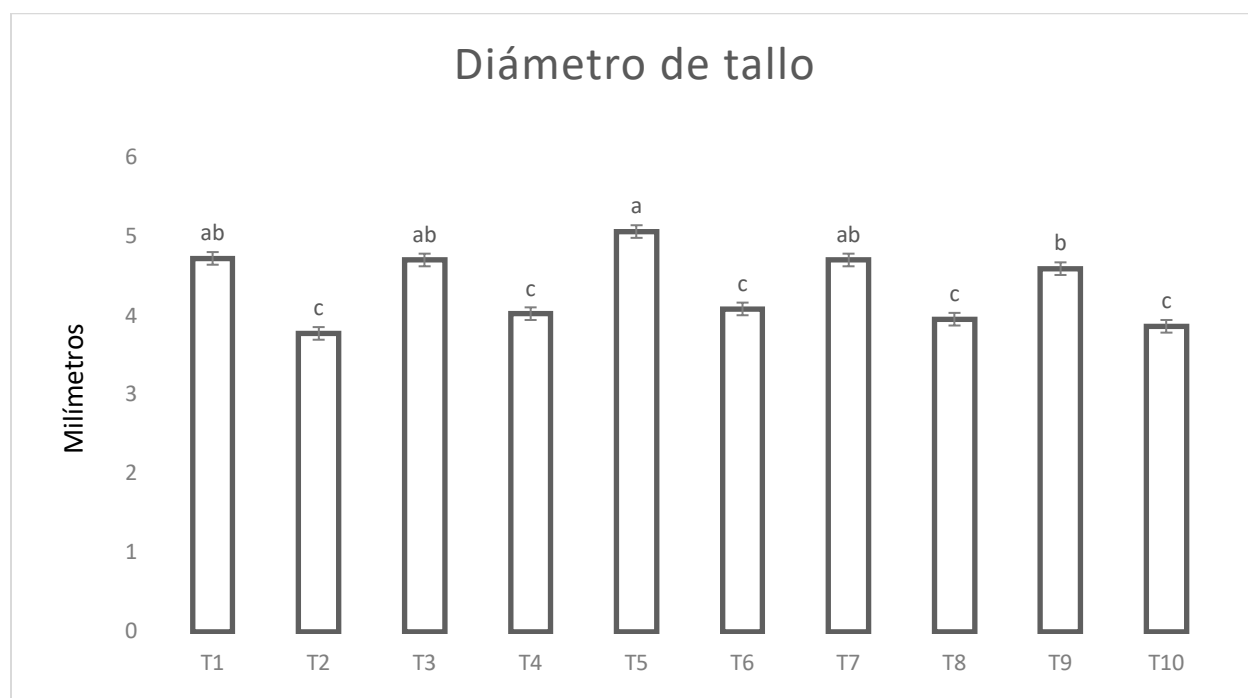


Figura 2. Diámetro de tallo en *E. grandiflorum*

Diámetro de tallo de *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

La notable reducción del diámetro de tallo observada en los tratamientos expuestos a NaCl (Grupo C; 3.78 – 4.09 mm) evidencia que el estrés salino resultó como el factor limitante predominante, anulando la separación estadística entre los elementos inductor de tolerancia bajo esta condición. El componente osmótico inicial de la salinidad disminuye drásticamente el potencial hídrico en la rizosfera, restringiendo el flujo de agua hacia el xilema y floema, (Rosca et al., 2023). Esta pérdida de turgencia altera la homeostasis celular e inhibe la actividad en el cambium vascular, el

meristemo responsable del crecimiento secundario. Al verse comprometida la división y expansión radial de las células cambiales, el desarrollo anatómico del tallo se ve severamente penalizado, lo que justifica el atraso del bloque en general, estresado en comparación con las plantas que conllevan condiciones óptimas del cultivo.

Añadiendo que el daño generalizado del conjunto de tallos (Grupo C) se encuentra la explicación a través de interrupción en la fuente – demanda de carbohidratos, ocasionada por la falla del aparato fotosintético. El estrés salino por NaCl inhibe severamente la tasa fotosintética y altera la ultraestructura de los cloroplastos mediante una regulación negativa de genes asociados a su desarrollo (Lu et al., 2023). Al verse bloqueada la asimilación de carbono en las hojas (fuente principal), la translocación y disponibilidad de sacarosa hacia las zonas de demanda se reducen drásticamente. Bajo esta limitante de energía, la planta superpone la supervivencia de órganos vitales, reduciendo el flujo de fotoasimilados destinados al crecimiento secundario del tallo. Justificando por qué el testigo salino (T10) experimentó una notoria reducción en el grosor a comparación con su respectivo control sin estrés (T9; 4.60 mm), demostrando así que la reducción de carbohidratos resulta como consecuencia crítica de la toxicidad iónica.

El daño al grosor del tallo bajo estrés abiótico es vinculado a modificaciones en la estructura de tejidos xilemáticos. Ante un estrés por salinidad, las plantas modifican sus rasgos morfo anatómicos mediante la producción de vasos conductores de menor diámetro como una estrategia adaptativa para evitar el colapso por cavitación manteniendo la seguridad hidráulica (Li et al., 2023). Esta respuesta de plasticidad frente a la restricción hidráulica, sumada a la pérdida de elasticidad de la pared celular, explica por qué el tratamiento de silicio con salinidad (T2) registró el número más bajo (3.78 mm). Bajo la severidad del estrés inducido, la exposición exodérmica del silicio pudo haber incrementado la rigidez de las paredes de la epidermis del tallo; no obstante ante la ausencia de una presión de turgencia interna adecuada, dicha rigidez limitó mecánicamente la expansión lateral de los tejidos foliares y conductivos.

El máximo incremento en el grosor del tallo registrado en el tratamiento con extracto de levadura en ausencia de estrés (T5; 5.07 mm) siendo el mayor absoluto pasó a sufrir una reducción drástica bajo salinidad (T6: 4.09mm), exponiendo un cambio en la adición de recursos metabólicos inducidos por estrés. Los bioestimulantes basados en extractos naturales aportan una alta concentración de aminoácidos, poliaminas y osmolitos compatibles; no obstante, la eficiencia y destino de estos compuestos se ve fuertemente modificada por la salinidad (Ahmad et al., 2022). En ausencia de estrés, estos componentes actúan como promotores de la división celular y vigor vegetativo, pero ante la presencia de NaCl, la planta se ve forzada a redirigir dichos compuestos orgánicos hacia rutas de osmorregulación, ajuste osmótico y síntesis de proteínas para salvaguardar la homeostasis interna. Esta redirección de energía y metabolitos desde el eje de crecimiento hacia el crecimiento de defensa celular explica por qué el potencial de levadura disminuyó significativamente en el entorno salino.

NÚMERO DE HOJAS

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el número de hojas por planta entre los tratamientos evaluados (**Figura 3**). De acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), los resultados fueron agrupados en cinco bloques estadísticos independientes. El valor máximo absoluto se registró en el tratamiento con extracto de levadura sin salinidad (T5; Grupo A), sobresaliendo con un promedio de 10.73 hojas. En el segundo grupo de alta productividad (Grupo B), se colocaron las aplicaciones de selenio y yodo (T3 y T7 respectivamente), con valores idénticos y estables de 9.55 Y 9.49 hojas.

Por otra parte, la categoría C agrupó de manera homogénea al testigo sin sal (T9), a las variantes suplementadas con silicio (T1 y T2) y al extracto de levadura bajo estrés (T6), sosteniendo medidas que oscilaron entre 8.50 y 8.94 hojas. Finalmente, las menores tasas de producción foliar se concentran en las plantas sometidas a estrés por NaCl tratadas con yodo (T4) y selenio (T8), clasificadas en la categoría D (7.55 y 7.86 hojas), siendo superadas únicamente por el testigo salino (T10, letra E), el cual exhibió el menor desarrollo foliar con una media mínima de 7.23 hojas. Esta marcada distribución demuestra el efecto del estrés abiótico sobre el aparato fotosintético de *Eustoma grandiflorum* (lisianthus), denotando a su vez que el beneficio de los inductores exógenos está fuertemente condicionado tanto por la naturaleza del compuesto como por la presencia de salinidad en el medio.



Figura 3. Número de hojas en *E. grandiflorum*

Número de hojas en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

La denominada reducción en producción foliar registrada en el testigo salino (T10; grupo E; 7.23 hojas) refleja el impacto adverso que conlleva el estrés abiótico causado por NaCl imponiendo sobre el desarrollo vegetativo de la planta. La acumulación excesiva de sales en la rizosfera induce un componente osmótico que limita la absorción de agua, reduciendo los conductos estomáticos y restringiendo el acceso de CO₂ necesario para los procesos fotosintéticos (Santos et al., 2022). Las plantas sensibles a la salinidad suelen manifestar clorosis, senescencia y abscisión, foliar prematura debido a la acumulación de iones en tejido inmaduro (Chourasia et al., 2021). En el presente estudio, este conjunto de alteraciones fisiológicas ayuda a explicar la pérdida en la densidad foliar observada en las plantas expuestas al estrés salino puro, donde la ausencia de agentes protectores dejó al *lisianthus* con una capacidad reducida para contrarrestar la supresión del crecimiento.

El incremento de número de hojas exhibido por el tratamiento con silicio bajo salinidad (T2; grupo C; 8.66 hojas), el cual supera numéricamente al testigo estresado igualando estadísticamente al testigo absoluto sin sal (T9; grupo C; 8.94 hojas), sugiere una respuesta de mitigación efectiva frente a un desequilibrio hídrico e iónico. El silicio posee la capacidad de favorecer una regulación más eficiente de la transpiración y contribuir a disminuir la interferencia del Na⁺ sobre la absorción de nutrientes esenciales como el K⁺. Esta estabilización del estado hídrico y nutricional (Iqbal et al., 2021). Dicho esto, probablemente favoreció el mantenimiento de la actividad fotosintética y del crecimiento vegetativo, facilitando la formación y retención de hojas bajo las condiciones restrictivas inducidas por el NaCl.

El comportamiento restrictivo observado en variantes de yodo y selenio bajo salinidad (T4 y T8; grupo D; 7.55 y 7.86 hojas, respectivamente), las cuales se posicionaron estadísticamente por debajo del tratamiento con silicio, podría asociarse a una interacción compleja entre el estrés por NaCl y la ventana de tolerancia fisiológica de estos oligoelementos. En concentraciones óptimas y bajo condiciones adecuadas de crecimiento, el selenio puede estimular un desempeño morfológico y desarrollo celular (Manobanda – Bustillo et al., 2025), sin embargo, bajo la influencia de salinidad, la absorción y distribución de nutrientes puede verse alterada (Zafar et al., 2024). Es posible que la combinación de la toxicidad iónica del medio y la alteración en la absorción de nutrientes haya incrementado la demanda metabólica asociada a los mecanismos de adaptación al estrés. Como consecuencia, parte de los recursos energéticos pudieron destinarse a procesos de mantenimiento y defensa celular, limitando el crecimiento de la parte aérea y derivando un menor número de hojas en comparación con sus respectivas contrapartes establecidas en las condiciones de control.

Finalmente, el tratamiento con extracto de levadura, en ausencia de estrés demostró el impacto más significativo (T5; 10.73 hojas, letra A) consolida a este bioestimulante como el tratamiento más eficiente para potenciar el *Vigo* vegetativo en *eustoma grandiflorum*. Fisiológicamente, la producción de un mayor número de hojas se traduce en una mayor superficie de intercepción lumínica (Santos et al., 2022). El extracto de levadura al ser una fuente rica en aminoácidos, vitaminas y compuestos promotores del crecimiento, su aplicación en condiciones no restrictivas favoreció el desarrollo de brotes estimulando el crecimiento vegetativo de la planta (Olguín – Hernández et al., 2023). Al superar de manera rotunda el testigo absoluto (T9; 8.94 hojas), se evidencia que la levadura no solo contribuye al mantenimiento fisiológico de la planta, sino que actúa como un promotor de crecimiento maximizando el potencial biológico de la especie en condiciones ambientales favorables.

NÚMERO DE BOTONES FLORALES

Se observaron diferencias estadísticas significativas en el número de botones florales por planta entre los tratamientos evaluados (**Figura 4**). La prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) separando las respuestas en bloques específicos, reflejando el potencial inductor en condiciones óptimas así como el efecto opuesto en medio de salinidad. El mayor número de botones florales lo reportan las variantes desarrolladas en ausencia de estrés siendo tratadas con extracto de levadura y silicio (T5 y T1, respectivamente), las cuales compartieron la categoría estadística superior (Grupo A) con promedios máximos de 4.61 y 4.33 botones florales. En una posición intermedia alta se ubicó el tratamiento de yodo sin sal (T3; Grupo B) con una media de 3.85 botones, seguido por la aplicación de selenio sin sal (T7; Grupo C) alcanzando 3.41 botones, logrando superar al testigo absoluto sin salinidad (T9; Grupo CD; 3.11 botones).

Las plantas inducidas con estrés salino NaCl, provocaron una marcada inhibición en la diferenciación reproductiva. La mayoría de variantes tratadas con silicio (T2), yodo (T4) y extracto de levadura (T6), se agruparon de forma homogénea junto con el testigo salino (T10) en la categoría estadística compartida DE, sosteniendo valores mínimos y estables que oscilaron estrechamente entre 2.83 y 2.92 botones florales. El tratamiento con menor valor en la evaluación resultó siendo el tratamiento de selenio bajo salinidad (T8; Grupo E) con un promedio mínimo de 2.60 botones por planta.

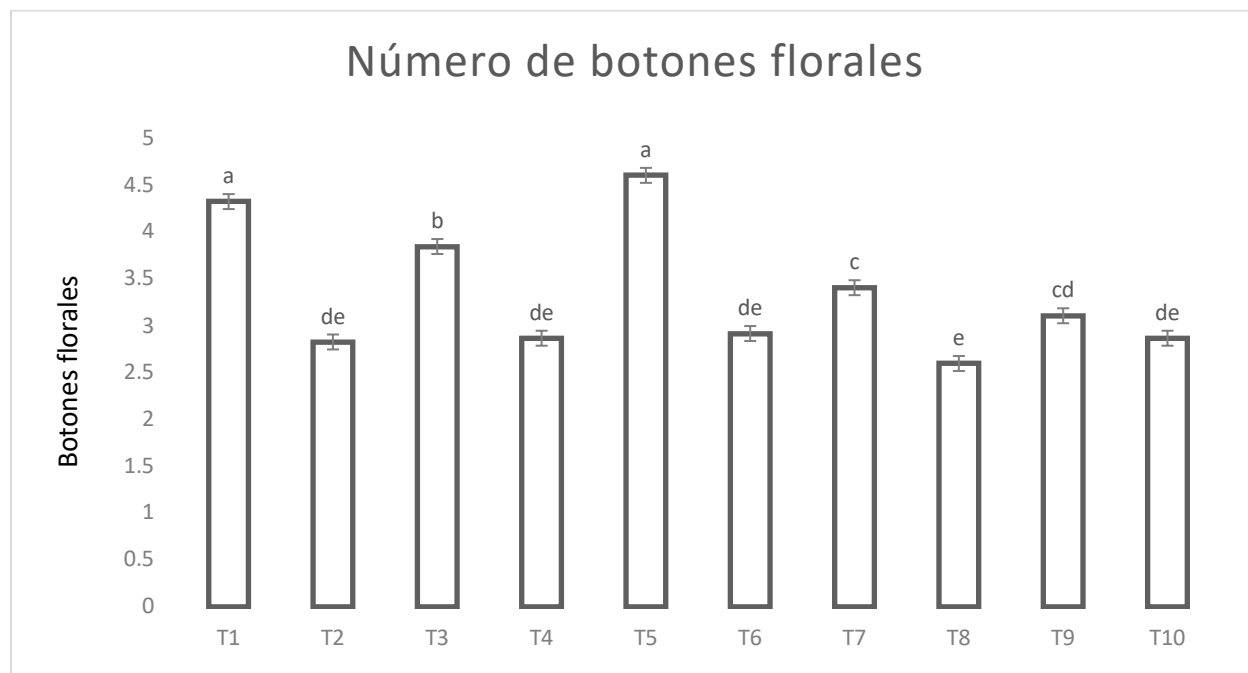


Figura 4. Número de botones florales en *E. grandiflorum*

Resultados de la evaluación sobre número de botones florales en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

La notoria disminución en el número de botones en todos los tratamientos expuestos a la salinidad (Grupo DE) sugiere que, bajo la presión de NaCl, *lisianthus* reduce la inversión de recursos destinados a la formación de estructuras reproductivas, priorizando procesos asociados al mantenimiento y adaptación fisiológica. Morfológicamente, la planta redistribuye su energía en un entorno hostil (Patra et al., 2024). El desarrollo floral es notablemente más sensible al estrés abiótico que el crecimiento vegetativo, esto debido a que los órganos reproductivos están ligados por vías hormonales y de desarrollo sumamente complejas que se irrumpen con facilidad. La presencia de salinidad genera desequilibrios en fitohormonas clave como auxinas, giberelinas y ácido abscísico (ABA), compromete a la actividad del meristemo floral, reduciendo la capacidad de formación y desarrollo de estructuras reproductivas (Guzmán et al., 2025). Este fenómeno nos ayuda a explicar por qué el testigo salino (T10) y la mayoría de inductores bajo estrés (T2, T4, T6); Grupo DE) quedaron agrupados en promedios inferiores de botones, confirmando que las respuestas de adaptación vegetativa no son suficientes para asegurar el éxito reproductivo bajo condiciones de estrés por NaCl.

Por otra parte, el hecho de que el silicio sin sal (T1) y el extracto de levadura sin sal (T5) presentaran los valores más altos del experimento (Grupo A) revelando que, en un entorno libre de restricciones hídricas, ambos inductores optimizan la eficiencia metabólica de la planta, favoreciendo a una mayor disponibilidad de fotoasimilados. En este escenario óptimo, *lisianthus* logra cubrir las demandas de mantenimiento basal y deriva con éxito ese remanente energético hacia la diferenciación floral. La aplicación exógena de silicio promueve un incremento significativo de las tasas de asimilación, conductancia estomática y eficiencia en el uso de agua, lo que significa una optimización y disponibilidad sobre la traslocación de carbohidratos (Gómez – Santos et al., 2023). Dado que la inducción floral requiere que la planta acumule una cantidad crítica de reservas antes de cambiar de fase (Patra et al., 2023), y que los bioestimulantes orgánicos basados en levadura aportan precursores que favorecen al desarrollo floral (Olguín – Hernández et al., 2023), los tratamientos T1 y T5 actuaron como promotores dinámicos que permitieron al *lisianthus* superar de manera contundente la floración natural exhibida por el testigo sin sal (T9; 3.11 botones).

El comportamiento restrictivo de selenio bajo salinidad (T8), que segregó de manera única como el valor más bajo de todo el experimento (Grupo E; 2.60 botones), sugiere una interacción de carácter complejo entre este oligoelemento y el estrés por NaCl en la etapa reproductiva. Si bien la suplementación con selenio con dosis óptimas y suficiencia hídrica funciona como un inductor que mejora los parámetros morfológicos (Manobanda – Bustillo et al., 2025), y puede atenuar el estrés en ciertos cultivos mediante la activación enzimática (Danso et al., 2023) la introducción de salinidad severa altera las dinámicas fisiológicas. Los resultados sugieren que la combinación de estrés salino y la aplicación de selenio no favoreció la formación de botones florales bajo las condiciones evaluadas, lo que puede estar relacionado con alteraciones en la homeostasis fisiológica y hormonal descritas para plantas sometidas simultáneamente a salinidad y oligoelementos (Zafar et al., 2024). En este apartado, el uso de selenio bajo esta condición de salinidad no mostró una respuesta favorable sobre la diferenciación floral, acentuando la reducción en el número de botones respecto a los demás tratamientos evaluados.

DIAMETRO ECUATORIAL DE LA FLOR

El diámetro ecuatorial de la flor mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (**Figura 5**). De acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), las variantes cultivadas en condiciones sin salinidad y suplementadas con extracto de levadura (T5) y silicio (T1) alcanzaron las mayores dimensiones con promedios de 40.13 mm y 38.93 mm, respectivamente, ubicándose de forma agrupada en la categoría estadística superior (Grupo A). Este grupo de respuesta alta compartió significancia con las aplicaciones de selenio (T7; 38.22 mm) y yodo (T3; 38.18 mm) bajo las condiciones de control, las cuales se clasificaron como AB. Cabe destacar que todos los inductores aplicados en ausencia de estrés lograron superar numéricamente al testigo absoluto sin salinidad (T9, letra CD; 32.24 mm).

La adición de NaCl indujo la tendencia general hacia la disminución del diámetro floral, manifestando variaciones según el compuesto aplicado. El tratamiento con selenio bajo salinidad (T8) logró destacar con una media de 35.14 mm, ubicándose en el grupo estadístico BC y superando el resto de las variantes con estrés. En contraste, las plantas tratadas con yodo (T4; 34.06 mm), extracto de levadura (T6; 32.56 mm) y silicio (T2; 31.54 mm) en condiciones salinas se agruparon de manera homogénea en la categoría CD, mostrando un comportamiento estadísticamente similar al del testigo absoluto sin sal (T9). Finalmente, el menor diámetro ecuatorial de la evaluación se redujo al testigo salino puro (T10; Grupo D) con un promedio mínimo de 30.98 mm. Indicando que, si bien el estrés por NaCl reduce la expansión de tejidos florales, ciertos inductores contribuyen a contrarrestar parcialmente dicha reducción en comparación con la respuesta del testigo estresado.

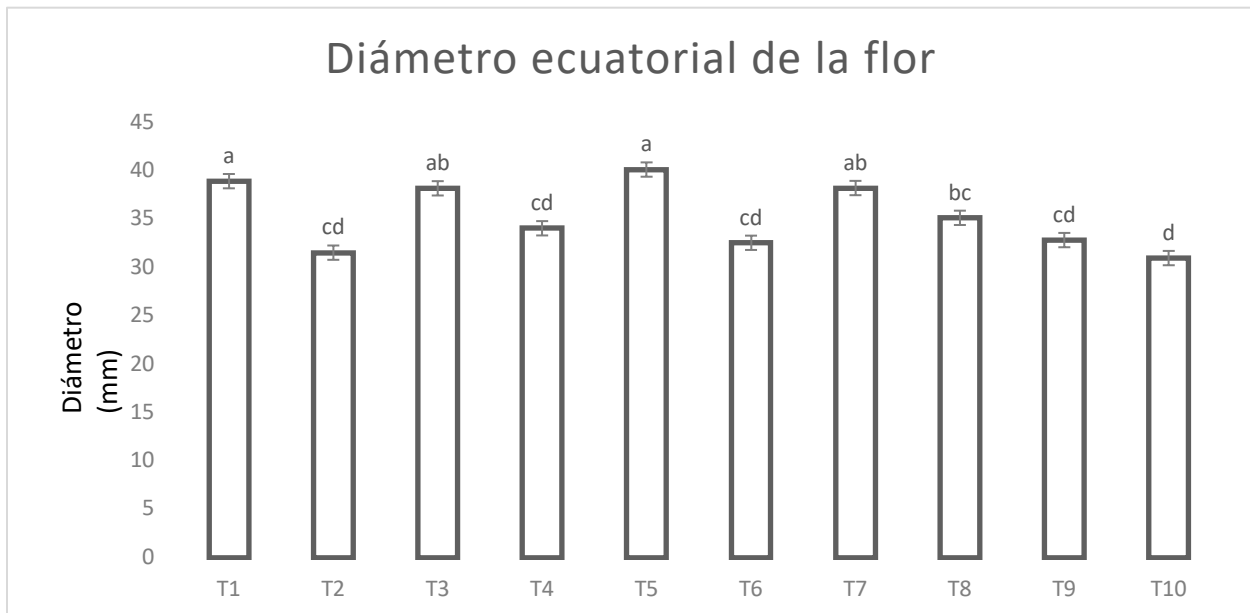


Figura 5. Diámetro ecuatorial de la flor de *E. grandiflorum*

Respuesta del diámetro ecuatorial de la flor en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

El diámetro de la flor es uno de los atributos de calidad visual más críticos en la floricultura comercial, ya que determina de forma directa el atractivo estético y la clasificación del valor de mercado de las plantas de corte. El tamaño de los pétalos define el diámetro final de la corola y representa un rasgo cuantitativo altamente influenciado por las condiciones externas del cultivo (Guan et al., 2025). En este estudio, la reducción del diámetro ecuatorial constatada en el testigo salino puro (T10; letra D) en comparación con el testigo absoluto (T9; letra CD) refleja cómo los factores ambientales restrictivos limitan la expresión de este parámetro de calidad. Esta tendencia hacia flores más pequeñas bajo condiciones de estrés por NaCl coincide con lo reportado por Guzmán y Marques (2023) en especies ornamentales, donde se indica que el estrés iónico y osmótico altera los patrones de desarrollo floral, afectando negativamente los atributos estéticos que determinan la aceptación comercial del producto final.

Fisiológicamente, la disminución en las dimensiones de la corola inducida por la salinidad podría asociarse a restricciones físicas en la elongación de los tejidos florales. El estrés salino perturba procesos fundamentales como la dirección de la división celular y la organización estructural interna, lo que repercute en modificaciones macroscópicas en la morfología de la planta (Guzmán y Marques., 2023). Asimismo, dado que la apertura floral y la expansión de los pétalos dependen en gran medida de la turgencia celular impulsada por el flujo hídrico, el componente osmótico de la salinidad reduce la disponibilidad de agua hacia las estructuras reproductivas en desarrollo. Esta limitación hídrica e iónica probablemente restringe la expansión celular de los pétalos durante la antesis, resultando en flores de menores dimensiones que comprometen los estándares de calidad visual exigidos por el mercado hortícola.

Por el contrario, el incremento significativo en el diámetro de la flor observado en las variantes cultivadas en condiciones óptimas tratadas con extracto de levadura (T5) y silicio (T1), las cuales presentaron los valores más altos del experimento (letra A), indica que la estimulación exógena en ausencia de estrés favorece la calidad ornamental del *lisianthus*. La suplementación con inductores inorgánicos promueve mejoras en las tasas fotosintéticas y en la eficiencia del uso del agua, optimizando la disponibilidad de fotoasimilados requeridos para el crecimiento celular (Gómez-Santos et al., 2023). Complementariamente, el extracto de levadura aporta compuestos nitrogenados y metabólicos que actúan eficientemente en la síntesis de biomasa y el vigor general de las estructuras vegetales (Lescano et al., 2025). Al combinarse una adecuada hidratación con un flujo continuo de carbohidratos hacia los verticilos florales (Guan et al., 2025), las plantas de los tratamientos T1 y T5 lograron expandir sus pétalos por encima del promedio del testigo sin sal (T9), maximizando su potencial estético.

En condiciones de salinidad, el comportamiento singular exhibido por el tratamiento con selenio (T8), el cual se posicionó como el valor más alto dentro del bloque estresado (letra BC), sugiere una contribución favorable al mantenimiento de la calidad floral bajo la influencia del NaCl. La aplicación foliar de selenio ejerce un efecto protector sobre las estructuras reproductivas en entornos salinos, contribuyendo a atenuar el daño en las membranas celulares y mejorando la estabilidad de los tejidos de la flor (Alvan et al., 2025). Los resultados indican que, si bien la salinidad ejerce una presión deprimida sobre el cultivo, la suplementación con selenio podría favorecer una respuesta fisiológica adaptativa que permite a los pétalos mitigar la pérdida de turgencia, logrando mantener un diámetro superior en comparación con el testigo salino desprovisto de agentes inductores (T10).

Para terminar, el comportamiento de T8 también denota una posible respuesta de compensación morfológica que resalta la complejidad de las interacciones fuente-demanda dentro de la planta de *lisianthus*. Al vincular estos resultados con el número de botones florales evaluado previamente,

se observa que el tratamiento T8 registró la menor cantidad de estructuras reproductivas por planta. De acuerdo con los criterios de regulación de tamaño propuestos por Guan et al. (2025) y Patra et al. (2024), una menor cantidad de sitios activos de demanda metabólica en la planta puede derivar en una redistribución más eficiente de los fotoasimilados y el agua disponibles hacia las pocas flores que logran completar su desarrollo. Por lo tanto, es posible sugerir que el *lisianthus*, bajo la influencia conjunta del selenio y la salinidad, prioriza el llenado y la expansión de un número reducido de flores, lo que explica por qué este tratamiento manifestó una penalización en la cantidad de botones pero logró sostener un diámetro ecuatorial comercialmente favorable en sus flores abierta.

DIAMETRO POLAR DE LA FLOR

El diámetro polar de la flor manifestó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados (**Figura 6**). Conforme a la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), la aplicación foliar de yodo en condiciones óptimas (T3) registró la mayor dimensión longitudinal con un promedio de 31.41 mm, ubicándose de manera exclusiva en la categoría estadística superior (letra A). Este tratamiento fue seguido por la suplementación con selenio en ausencia de estrés (T7; 29.65 mm), el cual se posicionó en la clasificación AB. Por su parte, las variantes tratadas con silicio (T1; 28.54 mm) y extracto de levadura (T5; 28.29 mm) en condiciones de control mostraron un crecimiento intermedio, integrándose en los grupos BC y BCD, respectivamente. Cabe destacar que los tratamientos T3 y T7 superaron de forma significativa al testigo absoluto sin salinidad (T9), el cual exhibió una media de 25.91 mm (letra EF). Bajo condiciones de salinidad por NaCl, las respuestas en la longitud polar de la flor difirieron notablemente según el inductor utilizado. Las plantas suplementadas con extracto de levadura (T6) y silicio (T2) alcanzaron promedios de 27.04 mm (letra CDE) y 26.28 mm (letra DE), respectivamente, manteniendo valores relativamente cercanos a los observados en sus correspondientes tratamientos sin salinidad.

En contraste, la adición de yodo bajo estrés (T4) deprimió el parámetro a una media de 25.82 mm (letra EF), igualando el comportamiento del testigo salino puro (T10; 25.91 mm, letra EF) y del testigo absoluto sin sal (T9). Finalmente, el menor diámetro polar de la evaluación se constató en el tratamiento de selenio con salinidad (T8), registrando un valor mínimo de 23.87 mm que lo segregó de manera exclusiva en la última categoría estadística (letra F). Estos resultados sugieren que la longitud polar de la corola respondió de manera diferencial según el inductor aplicado y su interacción con la salinidad, evidenciando patrones de respuesta que no fueron uniformes entre tratamientos.

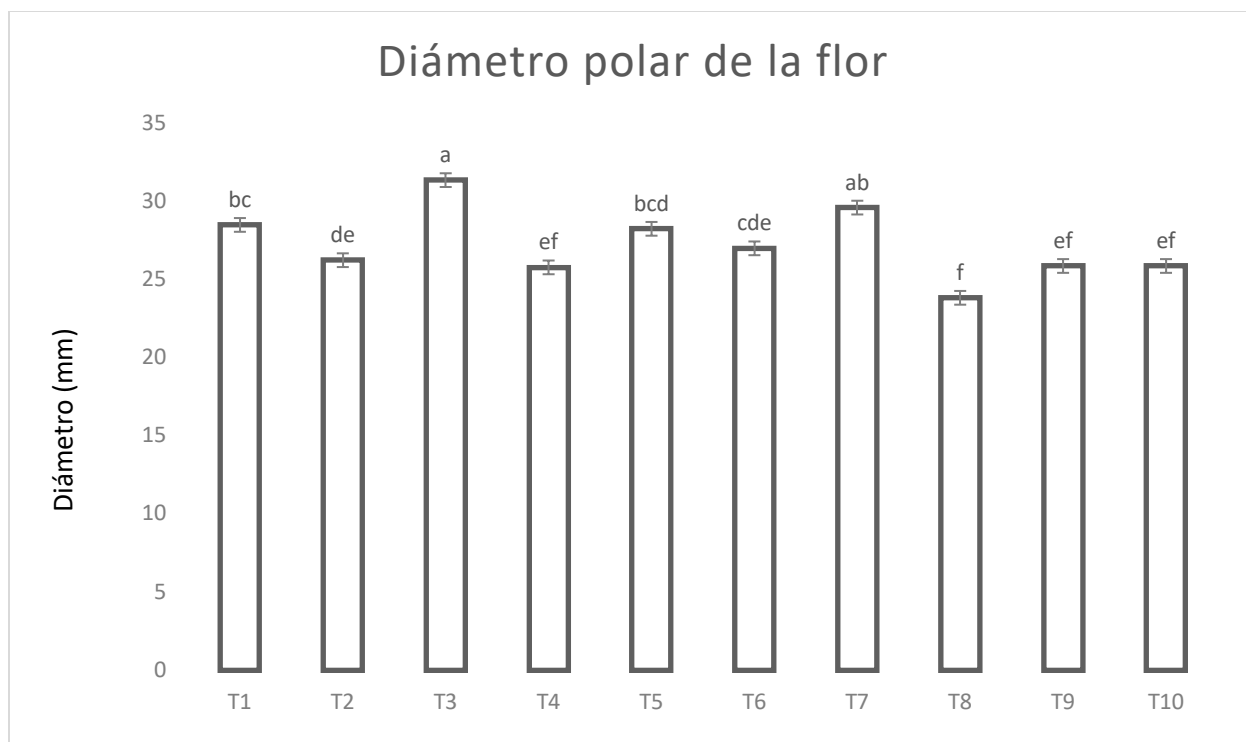


Figura 6. Diámetro polar de la flor de *E. grandiflorum*

Respuesta del diámetro polar de la flor en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

La geometría de la flor está determinada por la relación entre sus diámetros ecuatorial y polar, constituyendo un parámetro morfológico esencial en la floricultura como aspecto primordial para su selección al momento del corte. Desde una perspectiva comercial, la longitud polar de la corola contribuye a la forma y proporción visual de la flor, características que influyen directamente en su calidad ornamental y aceptación comercial. En este ensayo, el hecho de que el testigo absoluto sin sal (T9) y el testigo salino puro (T10) compartieran la misma media (25.91 mm; letra EF) sugiere que, bajo las condiciones evaluadas, la salinidad aplicada de forma aislada no modificó significativamente este parámetro, indicando que las variaciones más notables observadas en el experimento responden a la influencia específica de los inductores exógenos y sus interacciones con el medio hídrico.

Bajo condiciones de suficiencia hídrica, la aplicación foliar de yodo (T3) promovió de manera exclusiva el máximo diámetro polar del experimento (31.41 mm; letra A), superando de forma contundente al testigo de referencia. Fisiológicamente, este incremento longitudinal denota un alcanzó un estímulo específico sobre el desarrollo de los verticilos florales. El yodo en concentraciones micro molares (ppm) actúa como un microelemento benéfico que modula el transcriptoma vegetal, influyendo positivamente en la expresión de genes asociados a las vías de señalización hormonal y la biosíntesis de compuestos estructurales (Kiferle et al., 2021). Al respecto, se ha reportado que la optimización del estado nutricional con yodo favorece los procesos

de asimilación y promueve la actividad metabólica en los tejidos reproductivos (Hatamman y Abdullah., 2021). Esto sugiere que, en ausencia de restricciones osmóticas, el tratamiento T3 potenció la tasa de división y subsiguiente elongación celular en el eje vertical de los pétalos durante las etapas previas a la antesis, otorgándole a la flor una conformación alargada comercialmente atractiva.

Un comportamiento similar, aunque de menor magnitud, se observó con la adición de selenio sin sal (T7; letra AB), lo que evidencia el potencial de ambos elementos para favorecer la calidad geométrica floral cuando las condiciones de crecimiento son adecuadas.

En contraste, el tratamiento con selenio bajo salinidad (T8) presentó el menor diámetro polar de toda la evaluación (23.87 mm; letra F). Este comportamiento resulta particularmente relevante al compararlo con el diámetro ecuatorial obtenido en la misma condición, donde T8 se ubicó entre los tratamientos con flores de mayor amplitud dentro del bloque sometido a estrés. La respuesta conjunta de ambas variables sugiere que la interacción entre el selenio y la salinidad modificó la conformación general de la flor, favoreciendo una relación diámetro ecuatorial/diámetro polar relativamente mayor que la observada en el resto de los tratamientos sometidos a salinidad. Las dimensiones finales de los pétalos dependen de la coordinación entre múltiples procesos de crecimiento celular y de factores ambientales que actúan durante el desarrollo floral (Guan et al., 2025). Por ello, es posible que la combinación de ambos factores haya alterado la expresión morfológica de la corola bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, la naturaleza específica de esta respuesta requiere estudios complementarios que permitan percibir de manera específica los mecanismos fisiológicos involucrados.

LONGITUD DEL PEDUNCULO DE LA FLOR

La longitud del pedúnculo de la flor demostró diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos evaluados (**Figura 7**). De acuerdo con la prueba de separación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), las mayores longitudes longitudinales se obtuvieron de manera exclusiva en los tratamientos que combinaron salinidad con extracto de levadura (T6) y selenio (T8), alcanzando ambos una media idéntica de 13.04 cm (letra A). Estos valores superaron significativamente a los registrados por sus contrapartes cultivadas en condiciones óptimas sin estrés salino, donde el extracto de levadura (T5) y el selenio (T7) obtuvieron promedios de 11.08 cm y 10.94 cm, respectivamente, integrándose en el grupo estadístico B. En este mismo grupo intermedio se posicionó la aplicación foliar de yodo en ausencia de estrés (T3), con una longitud media de 11.47 cm. Cabe destacar que las plantas de los tratamientos T3, T5 y T7 manifestaron un desarrollo del pedúnculo significativamente superior al del testigo absoluto sin salinidad (T9), el cual presentó un valor de 9.36 cm (letra C).

La suplementación con silicio mostró un comportamiento homogéneo e independiente del nivel de estrés hídrico; las plantas tratadas con este elemento en condiciones de control (T1) y bajo salinidad (T2) registraron promedios de 8.68 cm y 8.79 cm, respectivamente, integrándose en el bloque estadístico C junto con el testigo absoluto (T9), sin presentar diferencias significativas entre sí. Finalmente, las menores longitudes del pedúnculo se observaron en el tratamiento de yodo bajo salinidad (T4) con 7.57 cm y en el testigo salino puro (T10) con 7.47 cm, compartiendo ambos la última categoría estadística (letra D). Estos resultados demuestran que, mientras el estrés por NaCl deprimió de forma aislada la elongación de esta estructura sostenedora, la interacción específica de la salinidad con inductores como el extracto de levadura y el selenio promovió una respuesta de elongación excepcional en el pedúnculo floral del *lisianthus*.

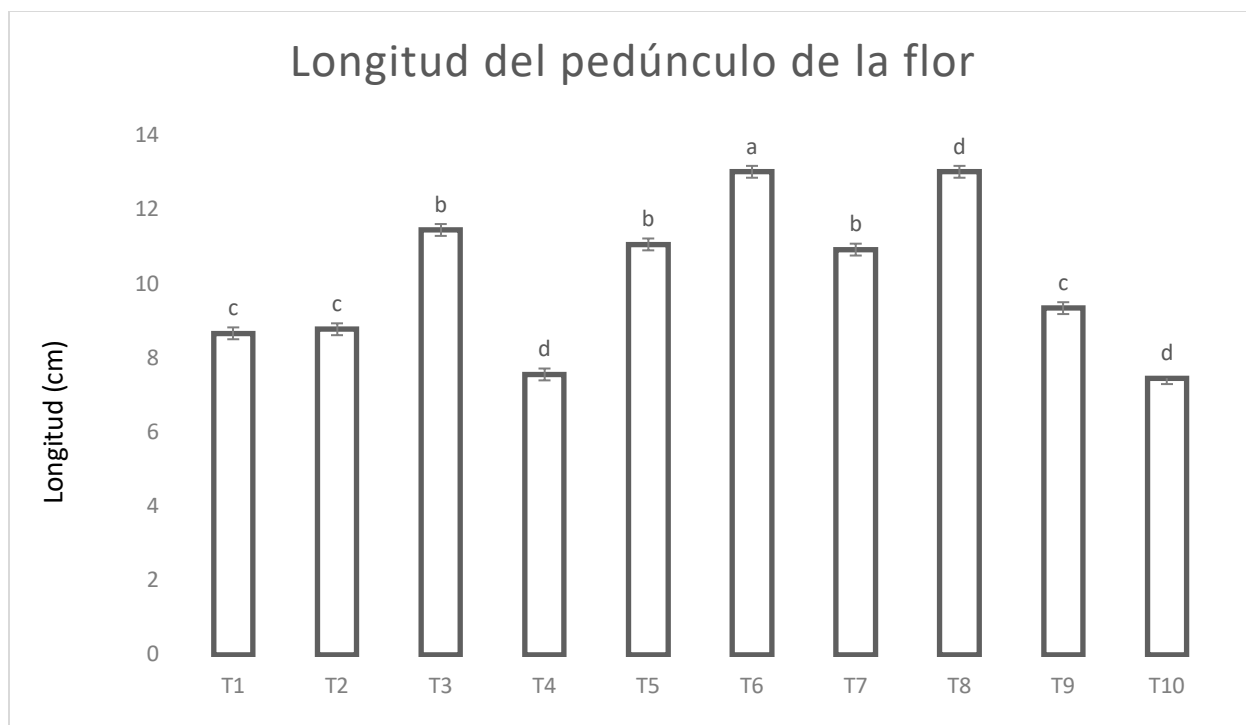


Figura 7. Longitud del pedúnculo de *E. grandiflorum*

Respuesta de la longitud del pedúnculo de la flor en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

La longitud del pedúnculo constituye un atributo de relevancia en la producción comercial de flores de corte, ya que determina la capacidad de exhibición de la flor, facilita las labores de cosecha y clasificación, y contribuye a la presentación estética del producto final. En *lisianthus*, un pedúnculo suficientemente desarrollado permite una mejor disposición de la flor dentro del arreglo floral y favorece su valor comercial. En el presente estudio, el testigo salino (T10) presentó una de las menores longitudes registradas (7.47 cm; letra D), lo que evidencia que la salinidad ejerció un efecto restrictivo sobre el crecimiento de esta estructura.

El estrés salino altera procesos fundamentales de división y expansión celular, reduciendo el crecimiento de órganos vegetativos y reproductivos (Guzmán y Marques., 2023). Asimismo, la disminución en la disponibilidad de agua causada por el componente osmótico de la salinidad limita la elongación celular necesaria para el desarrollo longitudinal de tallos y estructuras florales. La respuesta observada en el tratamiento con yodo bajo salinidad (T4; 7.57 cm; letra D) refuerza esta tendencia restrictiva, ya que presentó un comportamiento estadístico similar al testigo salino puro. Aunque diversos estudios han señalado efectos benéficos del yodo en bajas concentraciones sobre el metabolismo vegetal (Kiferle et al., 2021), los resultados obtenidos sugieren que, bajo las condiciones de estrés evaluadas, dicho elemento no logró contrarrestar las limitaciones impuestas por el NaCl sobre la elongación del pedúnculo floral. Esto coincide con la premisa de que los órganos reproductivos suelen ser particularmente sensibles a las alteraciones fisiológicas provocadas por factores ambientales adversos (Patra et al., 2024).

Contrastando los tratamientos con extracto de levadura bajo salinidad (T6) y selenio bajo salinidad (T8) alcanzaron las mayores longitudes del experimento (13.04 cm; letra A), superando significativamente tanto al testigo salino como a sus respectivas contrapartes cultivadas sin estrés. Este comportamiento sugiere que ambos inductores favorecieron mecanismos fisiológicos asociados al crecimiento y mantenimiento de las estructuras florales aun en presencia de NaCl. Se ha reportado que la aplicación de extracto de levadura incrementa la acumulación de biomasa y estimula la síntesis de compuestos metabólicamente activos, favoreciendo el crecimiento vegetal (Lescano et al., 2025). Por su parte, la aplicación foliar de selenio puede mejorar el desempeño de plantas ornamentales sometidas a salinidad mediante una reducción del daño oxidativo y una mayor estabilidad fisiológica de los tejidos (Alvan et al., 2025).

Finalmente, los resultados sugieren que la elongación del pedúnculo floral respondió de manera diferente a otros parámetros reproductivos evaluados en esta investigación. Mientras variables como el número de botones florales tendieron a disminuir bajo salinidad, los tratamientos T6 y T8 favorecieron un mayor desarrollo longitudinal de la estructura sostenedora de la flor. Una explicación posible es que la reducción en el número de órganos reproductivos activos haya permitido una redistribución más eficiente de fotoasimilados hacia las flores que lograron completar su desarrollo. En este sentido, la longitud del pedúnculo podría interpretarse como un indicador de la capacidad de la planta para priorizar la calidad individual de las flores producidas cuando los recursos disponibles son limitados, fenómeno que ha sido asociado a ajustes fisiológicos en las relaciones fuente-demanda durante situaciones de estrés (Patra et al., 2024).

DIAMETRO DEL PEDUNCULO DE LA FLOR

El diámetro del pedúnculo floral reporta diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados (**Figura 8**). De acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), el mayor valor numérico se registró en el tratamiento con extracto de levadura en condiciones óptimas (T5), con un promedio de 2.88 mm, mientras que el menor diámetro correspondió al testigo salino (T10), con 2.44 mm, el cual se ubicó de manera exclusiva en la categoría estadística inferior (letra C). Los tratamientos con silicio bajo salinidad (T2), extracto de levadura bajo salinidad (T6) y selenio bajo salinidad (T8) presentaron valores intermedios de 2.52, 2.53 y 2.53 mm, respectivamente, integrándose en el grupo BC. Por otra parte, las aplicaciones de silicio sin salinidad (T1; 2.60 mm), yodo sin salinidad (T3; 2.70 mm), yodo bajo salinidad (T4; 2.78 mm), selenio sin salinidad (T7; 2.70 mm) y el testigo absoluto (T9; 2.59 mm) registraron promedios comprendidos en dicho rango superior, agrupándose dentro de la categoría ABC. De forma general, la mayoría de los tratamientos mostraron una amplia superposición estadística, lo que indica que el diámetro del pedúnculo floral fue una variable relativamente estable frente a los tratamientos evaluados. No obstante, la reducción observada en el testigo salino (T10) sugiere que la ausencia de inductores fisiológicos bajo condiciones de NaCl puede limitar el desarrollo radial de esta estructura de soporte, mientras que la suplementación de los diferentes inductores amortiguó dicha pérdida, impidiendo que el diámetro vascular descendiera a los niveles críticos del testigo estresado puro.

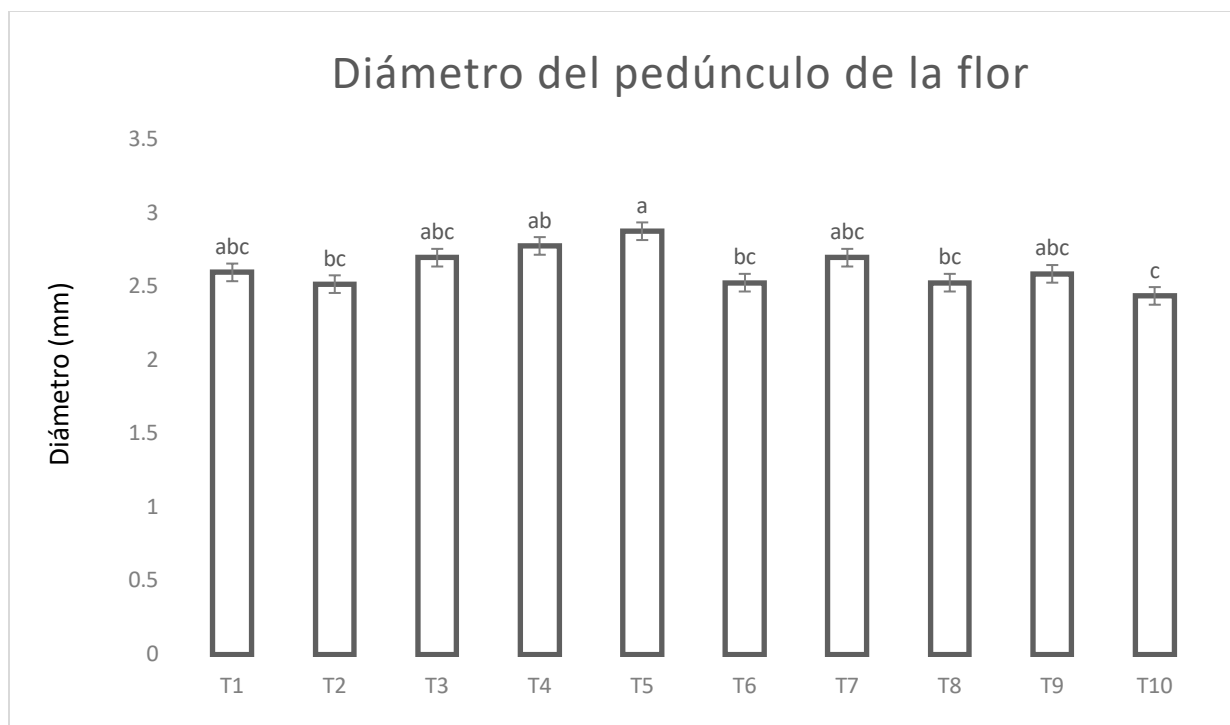


Figura 8. Diámetro del pedúnculo de la flor de *E. grandiflorum*

Resultado del diámetro del pedúnculo de la flor en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

El diámetro del pedúnculo floral constituye un atributo estrechamente relacionado con la capacidad de soporte mecánico de la flor y con la conducción eficiente de agua, nutrientes y foto asimilados hacia las estructuras reproductivas. A diferencia de otras variables evaluadas en el presente estudio, este parámetro presentó una respuesta relativamente estable frente a los tratamientos aplicados. La amplitud de variación observada entre el valor máximo (T5; 2.88 mm) y el mínimo (T10; 2.44 mm) fue reducida, además de existir un amplio traslape estadístico entre la mayoría de los tratamientos. Este comportamiento indica que el crecimiento radial del pedúnculo fue menos susceptible a las condiciones de salinidad y a la aplicación de inductores que otros componentes asociados con el desarrollo floral y reproductivo.

A pesar de esta estabilidad general, el testigo salino (T10) registró el menor diámetro del experimento, lo que evidencia que la exposición al NaCl en ausencia de agentes mitigadores puede restringir parcialmente el desarrollo de los tejidos de sostén floral. Guzmán y Marques (2023) señalan que el estrés salino altera procesos relacionados con la división y expansión celular, afectando diversos componentes morfológicos de las plantas ornamentales. Bajo esta perspectiva, la reducción observada en T10 podría atribuirse a limitaciones en el crecimiento celular derivadas del ambiente salino, aun cuando su efecto sobre esta variable fue menos pronunciado que el registrado en otros parámetros florales.

Por su parte, el extracto de levadura aplicado en condiciones óptimas (T5) presentó el mayor valor numérico de la evaluación. De acuerdo con Lescano et al. (2025), la aplicación de extracto de

levadura favorece la acumulación de biomasa y estimula la síntesis de compuestos metabólicamente activos relacionados con el crecimiento vegetal. Aunque estadísticamente no difirió de varios tratamientos, su tendencia superior sugiere una posible contribución al fortalecimiento estructural de los órganos florales cuando las condiciones ambientales favorecen el crecimiento y la asignación de recursos hacia la fase reproductiva.

Al comparar esta variable con la longitud del pedúnculo evaluada previamente, se observa que los tratamientos generaron modificaciones mucho más marcadas en la elongación longitudinal que en el engrosamiento radial. Este patrón sugiere que el *lisianthus* posee una mayor plasticidad para modificar la longitud de sus estructuras florales que para alterar su diámetro. Desde una perspectiva funcional, la especie parece conservar un grosor relativamente estable del pedúnculo con el fin de mantener la integridad mecánica de la flor, incluso cuando otros atributos reproductivos muestran respuestas más evidentes frente al estrés salino o a la aplicación de inductores fisiológicos.

LARGO DE HOJA

La longitud de la hoja de *lisianthus* manifestó diferencias estadísticas altamente significativas entre los tratamientos evaluados, mostrando una clara segregación en función de la presencia de estrés salino (**Figura 9**). Conforme a la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), todas las variantes cultivadas en condiciones óptimas de control se agruparon de forma exclusiva en la categoría estadística superior (letra A). Dentro de este bloque, la aplicación foliar de extracto de levadura (T5) registró el mayor valor numérico con un promedio de 8.64 cm, seguido muy de cerca por el testigo absoluto sin sal (T9; 8.26 cm), el selenio (T7; 8.10 cm), el yodo (T3; 8.09 cm) y el silicio (T1; 8.06 cm), sin presentar diferencias significativas entre sí.

La adición de NaCl en la solución nutritiva indujo una reducción generalizada y homogénea en la elongación de las hojas, confinando a todos los tratamientos estresados en la última categoría estadística (letra B). En este grupo de menor desempeño, el testigo salino puro (T10) exhibió la media más baja del experimento con 6.38 cm. Los tratamientos suplementados con inductores bajo salinidad, correspondientes a extracto de levadura (T6; 6.70 cm), silicio (T2; 6.72 cm), selenio (T8; 6.72 cm) y yodo (T4; 6.97 cm), compartieron la misma clasificación estadística con el testigo salino, evidenciando la ausencia de un efecto mitigador significativo sobre este parámetro vegetativo particular. La separación estadística observada entre ambos grupos hace evidencia sobre que la salinidad constituyó el principal factor determinante del largo foliar en el *lisianthus*, ya que ninguno de los inductores evaluados logró restablecer esta variable a niveles comparables con los tratamientos desarrollados en ausencia de estrés.

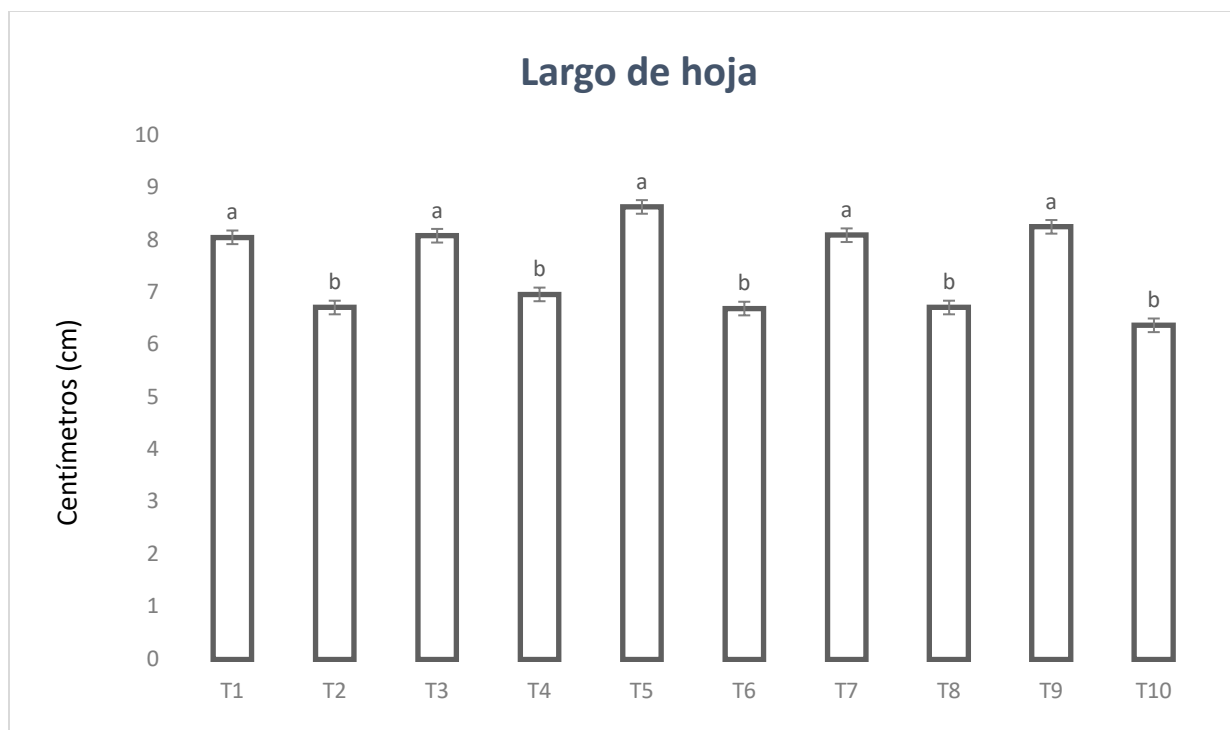


Figura 9. Largo de hoja de *E. grandiflorum*

Largo de hoja en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

La longitud foliar constituye uno de los principales indicadores del desarrollo vegetativo en especies ornamentales, debido a que determina en gran medida la superficie fotosintética disponible para la captura de radiación y la manufactura de carbohidratos metabólicos. En el presente estudio, la separación estadística observada entre todos los tratamientos establecidos sin salinidad (grupo A) y aquellos sometidos a estrés por (grupo B) evidencia que la salinidad fue el factor con mayor influencia sobre el crecimiento longitudinal de las hojas. La incapacidad de los inductores evaluados para restablecer esta variable a niveles equivalentes a los tratamientos sin estrés sugiere que la expansión foliar constituye uno de los procesos más sensibles a las restricciones impuestas por el ambiente salino.

La reducción del crecimiento foliar representa una de las respuestas morfológicas más frecuentes de las plantas expuestas a salinidad. La acumulación de sales en la rizosfera genera un estrés osmótico que disminuye la absorción de agua y reduce la presión de turgencia necesaria para la expansión celular (dos Santos et al., 2022; Iqbal et al., 2021). Como consecuencia, las hojas en desarrollo presentan menores tasas de elongación, limitando su tamaño final. Adicionalmente, la acumulación progresiva de iones tóxicos en los tejidos puede acelerar procesos de deterioro fisiológico y comprometer el crecimiento normal de los órganos aéreos (Chourasia et al., 2021).

El comportamiento observado en el testigo salino (T10), que registró el menor largo de hoja de la evaluación, respalda esta interpretación. Asimismo, el hecho de que los tratamientos con silicio (T2), yodo (T4), extracto de levadura (T6) y selenio (T8) permanecieran dentro del mismo grupo

estadístico que el testigo salino indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, dichos inductores no lograron contrarrestar completamente las limitaciones impuestas por el la expansión longitudinal de las hojas. Aunque algunos tratamientos mostraron ligeras mejoras numéricas respecto a T10, estas no fueron suficientes para generar una recuperación estadísticamente significativa del parámetro.

Por otra parte, los mayores valores se registraron en los tratamientos desarrollados bajo condiciones óptimas de crecimiento, destacando el extracto de levadura sin salinidad (T5), que presentó la máxima longitud foliar del experimento. Los compuestos presentes en los extractos de levadura favorecen la acumulación de biomasa y estimulan procesos metabólicos asociados al crecimiento vegetal (Lescano et al., 2025). Sin embargo, los resultados obtenidos sugieren que dichos beneficios se expresan con mayor claridad cuando la planta dispone de condiciones ambientales favorables, mientras que bajo estrés salino la capacidad de expansión foliar permanece limitada por factores osmóticos e iónicos que restringen el desarrollo normal de los tejidos.

ANCHO DE HOJA

El ancho de hoja presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados (**Figura 10**). De acuerdo con la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), los mayores valores correspondieron a los tratamientos desarrollados en ausencia de salinidad, destacando el extracto de levadura (T5), el selenio (T7) y el testigo absoluto (T9), con promedios de 4.84, 4.83 y 4.83 cm, respectivamente. Estos tratamientos compartieron la categoría estadística superior (Grupo A) junto con el silicio sin salinidad (T1), que registró un valor de 4.71 cm.

Por su parte, la aplicación de yodo en condiciones óptimas (T3) alcanzó una media de 4.55 cm, ubicándose en el grupo AB, mientras que el tratamiento con yodo bajo salinidad (T4) presentó un promedio de 4.34 cm, integrándose en la categoría B. En contraste, los tratamientos sometidos a salinidad combinada con selenio (T8) y silicio (T2) registraron valores de 3.97 y 3.68 cm, correspondientes a los grupos C y CD, respectivamente.

Los menores anchos foliares se observaron en el tratamiento con extracto de levadura bajo salinidad (T6), con 3.61 cm, y en el testigo salino (T10), con 3.63 cm, ambos pertenecientes a la categoría estadística inferior (Grupo D). En términos generales, los resultados evidencian que la salinidad redujo el crecimiento transversal de las hojas; sin embargo, la magnitud de dicha reducción dependió del inductor aplicado, observándose una mejor conservación del ancho foliar en los tratamientos suplementados con yodo.

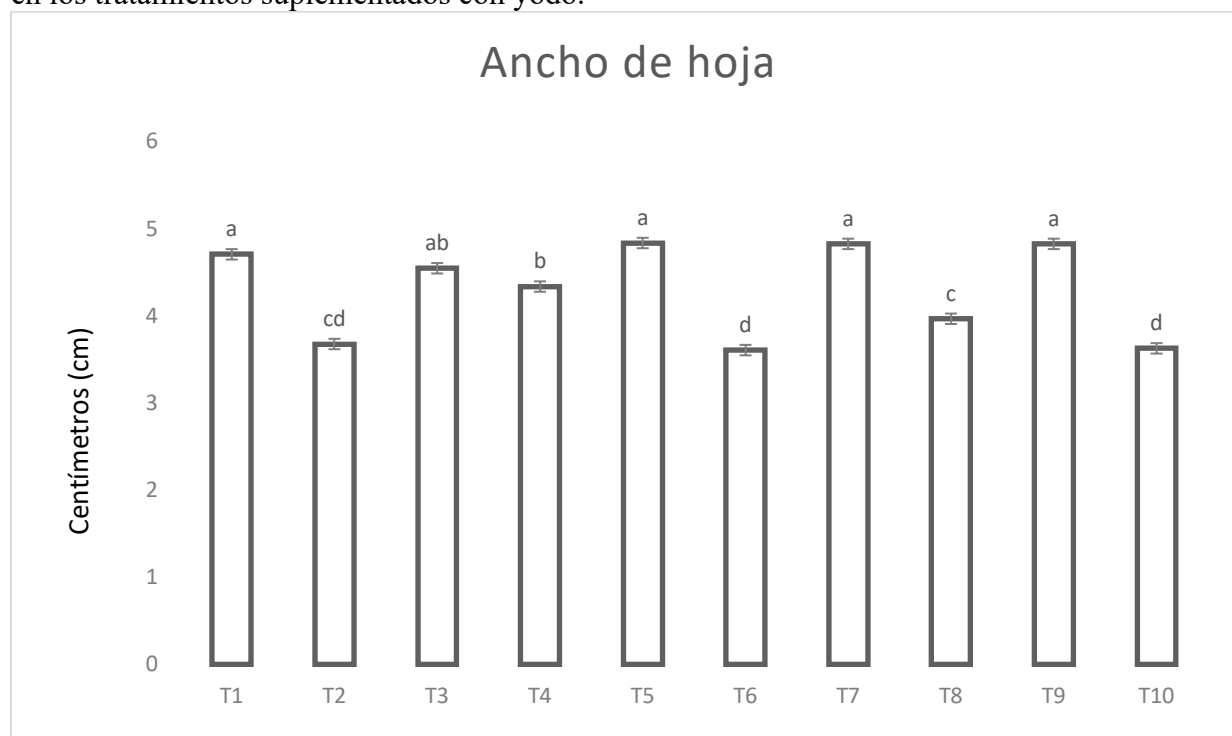


Figura 10. Ancho de hoja de *E. grandiflorum*

Ancho de hoja en *Eustoma grandiflorum* var. *Excalibur Blue* (*lisianthus*) en respuesta a la aplicación de silicio (1 g L^{-1}), yodo (20 ppm), selenio (4 ppm) y extracto de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, 12 g L^{-1}) bajo condiciones de estrés salino (NaCl) y control. Las barras representan la media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). **Tratamientos sin salinidad:** T1 (Silicio), T3 (Yodo), T5 (Extracto de levadura), T7 (Selenio), T9 (Testigo). **Tratamientos con salinidad:** T2 (Silicio), T4 (Yodo), T6 (Extracto de levadura), T8 (Selenio), T10 (Testigo).

El ancho de la lámina foliar se ve determinante para la arquitectura de la hoja, debido a que rige la capacidad de interceptación lumínica durante el proceso de evapotranspiración durante el día y la eficiencia en los procesos de asimilación de carbono. En el presente estudio, los tratamientos establecidos bajo condiciones óptimas de humedad y nutrición se agruparon de forma homogénea en la categoría estadística superior (grupo A), registrando los mayores valores de ancho foliar. Este comportamiento demuestra la existencia de un ambiente favorable que propició una adecuada división y elongación celular lateral de los tejidos foliares, maximizando la superficie potencial de captación energética de la planta.

En contraste, la adición de NaCl en el agua de riego indujo una reducción generalizada en el desarrollo radial de las hojas, situando al testigo salino (T10) entre los valores más bajos de la evaluación (3.63 cm; letra D). Las concentraciones elevadas de sales alteran procesos relacionados con la división y expansión celular, afectando distintos componentes morfológicos de especies ornamentales (Guzmán y Marques., 2023). Asimismo, el componente osmótico del estrés salino restringe la absorción de agua y disminuye la turgencia celular, condiciones que limitan la expansión de los tejidos en crecimiento y reducen el desarrollo superficial de la hoja.

A pesar de esta tendencia restrictiva, las variantes suplementadas con yodo (T4; 4.34 cm; letra B) y selenio (T8; 3.97 cm; letra C) bajo condiciones salinas mostraron una capacidad parcial para mantener el ancho foliar por encima del testigo salino. Estos resultados sugieren que ambos elementos pudieron contribuir a preservar el funcionamiento fisiológico de los tejidos bajo estrés, permitiendo una mayor expansión lateral de la lámina foliar. Diversos estudios han señalado que tanto el yodo como el selenio pueden participar en mecanismos asociados con la protección antioxidante y la estabilidad celular cuando las plantas son sometidas a condiciones ambientales adversas (Kiferle et al., 2021; Alvan et al., 2025).

También se observó que, el tratamiento con extracto de levadura bajo salinidad (T6) presentó uno de los valores más bajos de ancho foliar (3.61 cm; letra D), comportamiento que resulta particularmente interesante al contrastarlo con los resultados obtenidos para la longitud del pedúnculo floral. Mientras que T6 registró una reducción importante en la expansión transversal de las hojas, simultáneamente produjo el mayor desarrollo del pedúnculo floral (13.04 cm). Esta respuesta sugiere una posible modificación en los patrones de distribución de recursos dentro de la planta bajo condiciones de estrés. De acuerdo con Patra et al. (2024), los procesos reproductivos y vegetativos compiten constantemente por carbohidratos y recursos metabólicos disponibles, por lo que ciertos estímulos pueden favorecer la asignación preferencial de recursos hacia órganos específicos. En consecuencia, es posible que la aplicación de extracto de levadura bajo salinidad haya favorecido el desarrollo de estructuras florales a expensas de una menor expansión foliar, reflejando una estrategia de ajuste fisiológico frente a las condiciones restrictivas impuestas por el NaCl.

CONCLUSIONES

Durante la revisión de resultados y análisis de la información se obtuvo que la salinidad inducida mediante NaCl resultó ser el principal factor limitante para el crecimiento y desarrollo de *Eustoma grandiflorum*, provocando reducciones significativas en la mayor parte de las variables morfológicas evaluadas. Los efectos más notorios se observaron en la altura de planta, diámetro de tallo, longitud y ancho de hoja, así como en número de botones florales evidenciando la sensibilidad del cultivo a condiciones de estrés osmótico iónico generadas por la acumulación de sales en el medio de crecimiento.

Las variables vegetativas, los tratamientos desarrollados en ausencia de salinidad presentaron consistentemente los mayores valores. Destacó la aplicación de extracto de levadura, promoviendo el mayor diámetro del tallo, mayor número de hojas y mayor longitud foliar, reflejando una respuesta favorable sobre el vigor del cultivo. Así mismo el yodo favoreció mayor altura de planta, mientras que silicio, yodo y selenio mantuvieron comportamientos comparables al testigo absoluto cuando el entorno de crecimiento fue favorable.

Respecto a componentes reproductivos, los inductores evaluados mostraron respuestas diferenciadas. El extracto de levadura y el silicio promovieron el mayor número de botones florales y los mayores diámetros ecuatoriales de flor bajo suficiencia hídrica, mientras que el yodo favoreció el diámetro polar floral, estos resultados indican que los inductores exógenos pueden modificar selectivamente distintos atributos de calidad ornamental, mejorando características asociadas con el valor comercial de la flor.

Bajo condiciones de estrés salino, la capacidad de mitigación varió entre tratamientos. El selenio destacó por mantener el mayor diámetro ecuatorial floral dentro de las variantes sometidas a NaCl, sugiriendo una mejor conservación del tamaño de la flor. Por otra parte, el extracto de levadura y el selenio promovieron la mayor longitud del pedúnculo floral en presencia de salinidad, superando incluso sus respectivas contrapartes sin estrés. Destacando, variables relacionadas al desarrollo foliar, particularmente la longitud de hoja, mostraron una alta sensibilidad a NaCl y no lograron recuperarse significativamente mediante la aplicación de los inductores evaluados.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la respuesta del *lisianthus* frente a la salinidad no es uniforme entre órganos ni variables morfológicas mientras algunas estructuras vegetales fueron severamente afectadas por estrés, ciertos atributos florales conservaron niveles aceptables de desarrollo dependiendo del inductor aplicado. Esta respuesta evidencia la complejidad fisiológica de los mecanismos de adaptación del cultivo frente a ambientes salinos.

en términos prácticos, el extracto de levadura mostró el mejor desempeño general en ausencia de estrés salino al favorecer simultáneamente variables vegetativas y reproductivas asociadas con la calidad ornamental. Por su parte, el selenio presentó el comportamiento más sobresaliente bajo salinidad en características relacionadas con la calidad floral, en particular en el diámetro ecuatorial de la flor y elongación del pedúnculo. Estos resultados sugieren que ambos inductores poseen potencial para incorporarse en estrategias de manejo orientadas a mejorar la producción de *lisianthus*, aunque su efectividad depende del entorno y del objetivo perseguido.

Finalmente, se recomienda complementar estos resultados con estudios fisiológicos y bioquímicos que permitan comprender los mecanismos involucrados a la tolerancia al estrés salino inducida por silicio, yodo, extracto de levadura y selenio, así como evaluar su efecto sobre variables de calidad postcosecha, vida en florero y rendimiento comercial del cultivo. Estos hallazgos adquieren relevancia debido a que el valor comercial del *lisianthus* depende principalmente de la calidad visual de las flores y las características requeridas para su comercialización como flor de corte, por ello, la selección de estrategias de mitigación frente a la salinidad debe considerar no solo producción de biomasa, sino también la preservación de atributos ornamentales que determinen la aceptación y competitividad del producto en el mercado florista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca Cervantes, A. D. (2022). Distribución y capacidad diferencial de acumulación de silicio en plantas bajo estrés salino (Doctoral dissertation). <http://193.122.196.39:8080/handle/10521/4917>
- Acosta-Motos, J.-R., Diaz-Vivancos, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sanchez-Blanco, M. J., & Hernández, J. A. (2015, May 15). Physiological and biochemical mechanisms of the ornamental *Eugenia myrtifolia* L. plants for coping with NaCl stress and recovery. *Planta*. Springer Science and Business Media LLC. <http://doi.org/10.1007/s00425-015-2315-3>
- Adil, M., Shah, A. N., Khan, A. N., Younas, T., Mehmood, M. S., Mahmood, A., ... & Javed, M. S. (2023). Amelioration of harmful effects of soil salinity on plants through silicon application: a review. *Pakistan Journal of Botany*, 55(1), 9-18. DOI: [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2023-1\(24\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2023-1(24))
- Ahmad A, Blasco B and Martos V (2022) Combating Salinity Through Natural Plant Extracts Based Biostimulants: A Review. *Front. Plant Sci.* 13:862034. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.862034>
- Alvan, H.A., Jabbarzadeh, Z., Fard, J.R. et al. Selenium foliar application alleviates salinity stress in sweet william (*Dianthus barbatus* L.) by enhancing growth and reducing oxidative damage. *Sci Rep* 15, 5570 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89463-6>
- Awais, M., Rafiq, M., Shabbir, R., & Aslam, M. (2023). Salinity stress effects on nutrient uptake in plants and its influence on plant growth efficiency. *Trends Anim Plant Sci*, 1, 64-72. <https://doi.org/10.62324/TAPS/2023.009>
- Balasubramaniam T, Shen G, Esmacili N, Zhang H. Mecanismos de respuesta de las plantas al estrés de la salinidad. *Plantas*. 2023; 12(12):2253. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>
- Castellanos González, L., de Mello Prado, R., & Silva Campos, C. N. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos. *Cultivos Tropicales*, 36(Supl. 1), 16–24. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500002
- Chourasia, K. N., Lal, M. K., Tiwari, R. K., Dev, D., Kardile, H. B., Patil, V. U., Kumar, A., Vanishree, G., Kumar, D., Bhardwaj, V., Meena, J. K., Mangal, V., Shelake, R. M., Kim, J.-Y., & Pramanik, D. (2021). Salinity Stress in Potato: Understanding Physiological, Biochemical and Molecular Responses. *Life*, 11(6), 545. <https://doi.org/10.3390/life11060545>
- Danso, O. P., Asante-Badu, B., Zhang, Z., Song, J., Wang, Z., Yin, X., & Zhu, R. (2023). Selenium Biofortification: Strategies, Progress and Challenges. *Agriculture*, 13(2), 416. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020416>
- Efecto Diferenciado del Silicio en la Interacción con NaCl en la Emergencia de Tres Variedades de (*Solanum lycopersicum* L.). (2024). *TERRA LATINOAMERICANA*, 42. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1927>
- Guzmán, M. R., & Marques, I. (2023). Effect of Varied Salinity on Marigold Flowers: Reduced Size and Quantity Despite Enhanced Antioxidant Activity. *Agronomy*, 13(12), 3076. <https://doi.org/10.3390/agronomy13123076>
- Guzmán, M. R., Rojas-Ruilova, X., Gomes-Domingues, C., y Marques, I. (2025). Uso de agua salina para una floricultura sostenible: identificación de umbrales fisiológicos y rendimiento floral en ocho especies de asteraceae. *Agronomía*, 15(8), 1802. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081802>
- Harbaugh, B. K. (2007). *Lisianthus*. En N. O. Anderson (Ed.), *Flower breeding and genetics* (pp. 339–352). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1_24
- Hasanuzzaman, M., y Fujita, M. (2022). Respuestas de las plantas y tolerancia al estrés por la sal: intervenciones fisiológicas y moleculares. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 23(9), 4810. <https://doi.org/10.3390/ijms23094810>
- 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>

Iqbal, S., Hussain, S., Abdul Qayyum, M., Ashraf, M., & Saifullah. (2021). The Response of Maize Physiology under Salinity Stress and Its Coping Strategies. In *Plant Stress Physiology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92213>

Ismail, L. M., Soliman y M. I., Abd El-Aziz, M. H., y Abdel-Aziz, H. M. M. (2022). Impacto de los iones de sílice y la nano sílice en el crecimiento y la productividad de las plantas de guisantes bajo estrés de salinidad. *Plantas*, 11(4), 494. <https://doi.org/10.3390/plants11040494>

Jan R, Asaf S, Numan M, Lubna, Kim KM (2021) Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy* 11: 1-31. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050968>

Kiferle C, Martinelli M, Salzano AM, Gonzali S, Beltrami S, Salvadori PA, Hora K, Holwerda HT, Scaloni A, Perata P. Evidences for a Nutritional Role of Iodine in Plants. *Front Plant Sci*. 2021 Feb 17;12:616868. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.616868>

Leia Colin, Felix Ruhnnow, Jian-Kang Zhu, Chunzhao Zhao, Yang Zhao, Staffan Persson, The cell biology of primary cell walls during salt stress, *The Plant Cell*, Volume 35, Issue 1, January 2023, Pages 201–217, <https://doi.org/10.1093/plcell/koac292>

Lescano, L., Cziáky, Z., Custódio, L. et al. Yeast extract elicitation enhances growth and metabolite production in *Limonium algarvense* callus cultures. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 160, 45 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11240-025-02991-x>

Li, S.; Lu, S.; Wang, J.; Chen, Z.; Zhang, Y.; Duan, J.; Liu, P.; Wang, X.; Guo, J. Responses of Physiological, Morphological and Anatomical Traits to Abiotic Stress in Woody Plants. *Forests* 2023, 14, 1784. <https://doi.org/10.3390/f14091784>

Lu, C., Li, L., Liu, X., Chen, M., Wan, S., & Li, G. (2023). Salt Stress Inhibits Photosynthesis and Destroys Chloroplast Structure by Downregulating Chloroplast Development-Related Genes in *Robinia pseudoacacia* Seedlings. *Plants*, 12(6), 1283. <https://doi.org/10.3390/plants12061283>

Lu, Y., & Fricke, W. (2023). Salt Stress—Regulation of Root Water Uptake in a Whole-Plant and Diurnal Context. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(9), 8070. <https://doi.org/10.3390/ijms24098070>

Manobanda-Bustillo, M. J., Solis-Pérez, J. M., Galarza-Vera, A. N., Toapanta-Garces, K. L., & Llerena-Ramos, L. T. (2025). Selenio como bioestimulante en el crecimiento y rendimiento de *Brassica oleracea*. *Revista Científica Ciencia y Método*, 3(4), 162-176. <https://doi.org/10.55813/gaca/rcym/v3/n4/104>

Marisol Gómez-Santos, Yolanda González-García, Marissa Pérez-Álvarez, Gregorio Cadenas-Pliego, Antonio Juárez-Maldonado, Impact of Calcium-Silicon nanoparticles on flower quality and biochemical characteristics of *Lilium* under salt stress, *Plant Stress*, Volume 10. 2023, 100270, ISSN 2667-064X, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100270>.

Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26-35. http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESPANOL.pdf

Monografía “*lisanthus* algunos aspectos de manejo y fisiología”. (s. F.). [universidad autónoma del estado de México]. <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/110629/2015%20arlin%20emma%20ayala%20villada.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Olgún-Hernández, A. L., Arévalo-Galarza, M. d. L., Cadena-Iñiguez, J., Jaén-Contreras, D., & Peña-Valdivia, C. B. (2023). Plant Height and Stem Diameter of *Solanum quitoense* Lamarck Improved with Applications of AMF and Biostimulants. *Agriculture*, 13(7), 1420. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071420>

Patra, S., Chatterjee, D., Dutta, R. & Mandal, A. (2024) Abiotic and biotic factors regulate the timing of floral induction: a review. *Physiologia Plantarum*, 176(1), e14199. Available from: <https://doi.org/10.1111/ppl.14199>

Roşca M, Mihalache G and Stoleru V (2023) Tomato responses to salinity stress: From morphological traits to genetic changes. *Front. Plant Sci.* 14:1118383. <https://doi.org/doi:10.3389/fpls.2023.1118383>

Santos, T. B., Ribas, A. F., de Souza, S. G. H., Budzinski, I. G. F., & Domingues, D. S. (2022). Physiological Responses to Drought, Salinity, and Heat Stress in Plants: A Review. *Stresses*, 2(1), 113-135. <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>

Siddiqi, K.S., Husen, A., Zahra, N. et al. Harnessing silicon nanoparticles and various forms of silicon for enhanced plant growth performance under salinity stress: application and mechanism. *Discover Nano* 20, 89 (2025). <https://doi.org/10.1186/s11671-025-04270-2>

Tahir, M. A., Aziz, T., & Rahmatullah. (2011). Silicon-induced growth and yield enhancement in two wheat genotypes differing in salinity tolerance. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(4), 395–407. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.542219>

Thakur M, Bhattacharya S, Khosla PK, Puri S (2019) Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 12: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.004>

Turner, B. L. (Billie L. (2014). Taxonomic overview of *Eustoma* (Gentianaceae). *Phytologia*, 96, 7–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16671982>

Vazquez, M. M., Quintana, S. ., Medici, S. ., & Gende, L. B. . (2022). Evaluar la efectividad de la levadura de cerveza subproducto de la industria cervecera como bioestimulante en hidroponía. *INNOTEC*, (24 jul-dic), e622. <https://doi.org/10.26461/24.05>

Wang L, Shafiq F, Ding Z and He Y (2025) Integrating molecular mechanisms and agronomic strategies for selenium biofortification in horticultural crops. *Front. Plant Sci.* 16:1714617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1714617>

Yunxiao Guan, Chui Eng Wong, Qiaoyu Zhang, Donghui Peng, Siren Lan, Fadi Chen, Zhong-Jian Liu, Hao Yu, Sizing up beauty: Mechanisms of petal size regulation in ornamental plants, *Plant Physiology*, Volume 198, Issue 3, July (2025), kiaf198, <https://doi.org/10.1093/plphys/kiaf198>

Zafar, S., Hasnain, Z., Danish, S. et al. Modulations of wheat growth by selenium nanoparticles under salinity stress. *BMC Plant Biol* 24, 35 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04720-6>

Zaman M, Shahid SA, Heng L (2018) Irrigation water quality. In: Zaman M, Shahid SA, Heng L (eds) *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* Springer International Publishing. pp. 113–131. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_5