



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**FERTILIZACIÓN SILÍCEA EN LISIANTHUS
(*Eustoma grandiflorum* L.) CV. MARIACHI**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
RECTORADO Y ASISTENCIA A LOS
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA

MENDOZA FLORES LUIS GERDIEL

CHAPINGO, MEXICO. NOVIEMBRE DE 2013

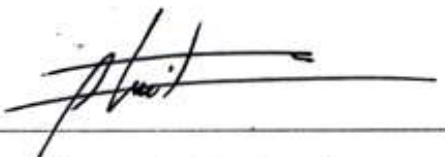


Instituto de Horticultura

La presente tesis titulada "FERTILIZACIÓN SILICEA EN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* L.) CV. MARIACHI" fue realizada por el Ing. Luis Gerdiel Mendoza Flores, bajo la dirección del Dr. Edilberto Avitia García y asesorada por la Dra. Ana María Castillo Gonzales y el M.C. Joel Pineda Pineda. Así mismo fue revisada y aprobada por el H. Jurado Examinador, en cumplimiento del reglamento vigente como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. Edilberto Avitia García

ASESOR:



Dra. Ana María Castillo González

ASESOR:



M.C. Joel Pineda Pineda

DATOS BIOGRÁFICOS

LUIS GERDIEL MENDOZA FLORES NACIÓ EL 11 DE MARZO DE 1985 EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS EN EL ESTADO DE CHIAPAS, MÉXICO. INGREÓ EN EL 2002 A LA PREPARATORIA AGRÍCOLA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, EN DONDE CONCLUYO SUS ESTUDIOS DE LICENCIATURA EN EL DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA COMO PARTE DE LA GENERACIÓN 2005-2009.

EN 2010 PRESTÓ SUS SERVICIOS PROFESIONALES EN LOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA ROSAS RUBÍ FLORES & FLOWERS, COMO TÉCNICO DE PRODUCCIÓN Y MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DE ROSAL. EN ESE MISMO AÑO PRESTÓ SUS SERVICIOS A LA EMPRESA BRAVO AG COMO TÉCNICO DE DESARROLLO DE AGROQUÍMICOS.

EN 2012 SE DESEMPEÑO COMO PROFESOR DE LA ASIGNATURA DE FITOPATOLOGÍA DE LA CARRERA AGRICULTURA SUSTENTABLE Y PROTEGIDA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TECAMACHALCO DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO.

TAMBIÉN EN 2012 FUE INSTRUCTOR DEL CURSO “ABONOS ORGÁNICOS Y LOMBRICULTURA” IMPARTIDO EN EL CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

AGRADECIMIENTOS

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) POR EL APOYO ECONÓMICO BRINDADO DURANTE LA REALIZACIÓN DE MIS ESTUDIOS DE MAESTRIA.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO Y EN ESPECIAL AL PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA, POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE CONTINUAR CON MIS ESTUDIOS DE POSGRADO Y UN PASO MÁS PARA ALCANZAR MIS METAS EN LA VIDA.

A LOS DOCTORES EDILBERTO AVITIA GARCÍA Y ANA MARA CASTILLO GONZÁLEZ POR SU SABIA DIRECCIÓN DURANTE EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, SU TIEMPO Y SU VALIOSA PACIENCIA.

AL M. C. JOEL PINEDA PINEDA POR LA REVISIÓN, ASESORÍA, APORTACIONES Y SUGERENCIAS PARA MEJORAR EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

DEDICATORIA

A MI MADRE: SILVIA NOEMI FLORES PEREZ POR DARME LA VIDA, UNA HERMOSA FAMILIA, SUS CONSEJOS Y LOS SACRIFICIOS PARA HACER DE MI LA PERSONA QUE AHORA SOY. ESPERO QUE ESTE LOGRO SEA UNA SATISFACCIÓN Y UN ORGULLO MÁS PARA ELLA.

A MI ESPOSA Y A MI HIJA: ASTRID CASTRO MONDRAGON Y SUNDURY ITZAYANA MENDOZA CASTRO, POR SU APOYO INCONDICIONAL, POR SUS PALABRAS DE ALIENTO EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES, POR LOS MOMENTOS MARAVILLOSOS VIVIDOS DURANTE TODO ESTE TIEMPO Y POR SER MI RAZÓN DE SEGUIR ADELANTE EN LA VIDA.

A MIS HERMANOS: EVELIN BENNY, MIRNA CLAUDIA, OLIVA RUBICELA, SILVIA GUADALUPE, ECLAIDE IDALBA Y ROGER MARTIN POR SU CARÍÑO Y LOS BUENOS MOMENTOS QUE HEMOS PASADO EN LA HERMOSA FAMILIA DE LA QUE FORMAMOS PARTE.

A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN 2011-2012, MUY EN ESPECIAL A: ERIK, CUAHUTEMOC, MISAEL, THEDDY, MARIO, JULIO, ANDRES, NESTRO Y GABRIELA.

A MIS AMIGOS Y FAMILIARES: ALEX DAGOBERTO, ANDRÉS RIVERA, ARMANDO NARCISO, EDMUNDO Y MANUEL ORANTIA.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
FERTILIZACIÓN SILÍCEA EN LISIANTHUS (<i>Eustoma grandiflorum</i> L.) CV.	
MARIACHI.....	vii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Lisianthus	4
3.1.1. Origen	4
3.1.2. Descripción botánica.....	4
3.1.3. Importancia	5
3.1.3.1. Internacional	5
3.1.3.2. Nacional.....	7
3.1.4. Cultivares	9
3.1.5. Ciclo de cultivo	10
3.1.6. Exigencias climáticas	11
3.1.6.1. Luz	11
3.1.6.2. Temperatura	12
3.1.7. Propagación	15
3.1.8. Plantación	18
3.1.9. Características del suelo	18
3.1.10. Fertilización	20
3.1.11. Plagas y enfermedades	21

3.2. Silicio	22
3.2.1. Silicio en el suelo	22
3.2.2. Absorción y transporte de silicio en las plantas	23
3.2.3. Efectos del silicio en las plantas.....	27
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	33
4.2. Establecimiento del Experimento	33
4.3. Definición de Tratamientos.....	35
4.4. Manejo del Cultivo	36
4.6. Diseño Experimental	38
4.7. Variables a Evaluar	38
4.7.1. Variables de crecimiento	39
4.7.1.1 Diámetro y longitud de tallo	39
4.7.1.2. Número de hojas y área foliar	39
4.7.1.3. Número de flores	40
4.8. Variables Fisiológicas.....	40
4.8.1. Contenido de clorofila	40
4.8.2. Acumulación de biomasa	41
4.8.3. Contenido de nutrimentos	42
4.9. Análisis Estadísticos.....	43
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1. Fenología del Cultivo.....	44
5.2. Efectos del Silicio en el pH y la CE del Suelo.....	44
5.3. Variables de Crecimiento	46
5.3.1. Diámetro y longitud de tallo.....	46
5.3.2. Número de hojas y área foliar	47
5.3.3. Número de flores.....	49
5.4. Variables Fisiológicas.....	50
5.4.1. Contenido de clorofila	50
5.4.2. Acumulación de biomasa	52
5.5. Contenido de Nutrimentos.....	54

5.5.1. Nitrógeno	54
5.5.2. Fósforo	57
5.5.3. Potasio	59
5.5.4. Calcio	60
5.5.5. Magnesio	62
5.5.6. Hierro	64
5.5.7. Manganeseo	66
5.5.8. Zinc	68
5.5.9. Cobre	70
5.5.10. Boro	72
5.5.11. Silicio	74
VI. CONCLUSIONES	77
VII. LITERATURA CITADA	78
VIII. ANEXOS	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Características del sustrato utilizado en el cultivo de lisianthus (<i>E. gradiglorum</i> L.) cv. Mariachi bajo fertilización silícea edáfica y foliar.....	34
Cuadro 2.	Porcentaje de silicio y otros nutrimentos presentes en los fertilizantes aplicados al sustrato para la producción de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi.....	35
Cuadro 3.	Tratamientos aplicados en el cultivo de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi.....	36
Cuadro 4	Temperaturas predominantes durante el cultivo del cultivo de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi bajo fertilización silícea edáfica y foliar.....	38
Cuadro 5.	pH y CE final en el sustrato utilizado para el cultivo de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L) cv. Mariachi bajo fertilización silícea edáfica y foliar.....	45
Cuadro 6.	Diámetro y longitud de tallos de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silícea edáfica y foliar.....	48
Cuadro 7	Número de hojas, área foliar y número de flores evaluadas en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silícea edáfica y foliar.....	51
Cuadro 8.	Biomasa acumulada en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silícea edáfica y foliar...	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Contenido de clorofila a, b y total en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	52
Figura 2.	Contenido de nitrógeno en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	55
Figura 3.	Extracción de nitrógeno en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	56
Figura 4.	Contenido de fósforo en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	58
Figura 5.	Extracción total de fósforo en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y folia.....	58
Figura 6.	Contenido de potasio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	59
Figura 7.	Extracción total de potasio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar	60
Figura 8.	Contenido de calcio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	61
Figura 9.	Extracción total de calcio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	62
Figura 10.	Contenido de magnesio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	63
Figura 11.	Extracción total de magnesio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar	64

Figura 12.	Contenido de hierro en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	65
Figura 13.	Extracción total de hierro en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	66
Figura 14.	Contenido de manganeso en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	67
Figura 15	Extracción total de manganeso en raíces de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	68
Figura 16.	Contenido de zinc en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	69
Figura 17.	Extracción total de zinc en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	70
Figura 18.	Contenido de cobre en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	71
Figura 19.	Extracción total de cobre en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	72
Figura 20.	Contenido de boro en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	73
Figura 21.	Extracción total de boro en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	74
Figura 22.	Contenido de silicio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	75
Figura 23	Extracción total de silicio en plantas de lisianthus (<i>E. grandiflorum</i> L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.....	76

FERTILIZACIÓN SILÍCEA EN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* L.) CV.

MARIACHI

SILÍCEA FERTILIZATION IN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* L.) CV. MARIACHI

Luis Gerdiel **Mendoza Flores**¹ y Ana María **Castillo González**²

RESUMEN

ABSTRACT

Se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de silicio aplicadas al suelo y al follaje en el crecimiento y el estado nutrimental de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.) cv. Mariachi. Al final del ciclo de cultivo (120 días después del trasplante) se encontró que la aplicación al sustrato de la dosis comercial (25 kg·m⁻³ de sustrato) de los tratamientos SFD (36.25-48.05 g de Si), SFDU (96.1- 106.22 g de Si), FSD (73.34-80.37 g de Si) y SFDP (58.17- 70.81 g de Si) provocaron fitotoxicidad, debido al aumento de la CE del sustrato, mientras que con las aplicaciones de silicato de potasio al 2, 4 y 8 mM de Si al follaje no se presentó efecto significativo sobre las variables de crecimiento: largo de tallo, diámetro de tallo, número de botones florales, número de hojas, área foliar, peso seco de flores, tallo y hojas y raíz, así como en las variables fisiológicas: contenido de clorofila a, b y total; la aplicación foliar de KSil 8 fue el mejor tratamiento al mejorar el contenido y extracción de micro y macronutrientes, así como la movilidad y distribución de los elementos en el interior de las plantas.

Palabras clave: crecimiento, absorción, contenido y extracción de nutrimentos.

Different concentrations of silicon were applied to soil and leaves and growth rate and nutrient status on lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.) cv. Mariachi to evaluate their effect on them. At the end of the crop cycle (120 days after transplanting) it was found that the application to the substrate of the commercial dose (25 kg m⁻³ · substrate) SFD treatments (36.25-48.05 g Si) SFDU (96.1 - 106.22 g Si) FSD (73.34-80.37 g Si) and SFDP (58.17-70.81 g Si) caused plant toxicity due to the increment in the EC of the substrate, whereas applications of potassium-silicate 2, 4 and 8 mM of Si to the leaves did not show any representative effect over variables as growth: stem length (LT), stem diameter (SD), of flower buds number (NB), leaves number (NL), leaf area (AF), dry weight of flowers, stems and leaves and root (PSF, PSTH and PSR), as well as physiological variables: chlorophyll a, b and total (NCC, CCB and CCT); foliar application of KSIL 8 was the best treatment to improve the content and extraction of micro and macronutrients, as well as mobility and distribution of the nutrients in the plant.

Key Words: growth, absorption, content and nutrient extraction.

¹Autor, Tesista de la Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

²Director de Tesis, Profesor-Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

I. INTRODUCCIÓN

El *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* L.) pertenece a la familia de las Gencianáceas (Melgares de Aguilar, 1996a), es originaria del oeste de Nebraska, Colorado, Wioming, sur de Dakota, Kansas, centro de Texas; así como del norte de México (Ohkawa *et al.*, 1991). Es una importante planta ornamental cultivada principalmente en Europa, Japón y Estados Unidos (Halevy y Kofranek, 1984; Ecker *et al.*, 1994), siendo la décimo tercer flor más vendida y la octava mejor pagada en las subastas holandesas; en Japón ocupa el tercer lugar en ventas, mientras que en los Estados Unidos es la quinta flor más consumida (INFOCENTER - FIA, 2010). El interés de la producción de esta especie se relaciona con la gran diversidad de flores, su alta productividad y buena duración en florero (Fox, 1998; citado por Barbaro *et al.*, 2009). Su cultivo no presenta grandes problemas técnicos, las estructuras de soporte y conducción son semejantes a las utilizadas en producción de claveles, crisantemos y lilis, entre otras flores; permitiendo a los productores diversificar los cultivos sin mayores complicaciones (Melgares de Aguilar, 1996a).

En México *E. grandiflorum* es una especie de reciente introducción cuya demanda en el mercado nacional va en aumento, por lo que se considera un cultivo con amplias perspectivas (Cruz–Crespo *et al.*, 2006). Por lo anterior y dado a que no se cuenta con información con respecto a su nutrición, ésta se basa fundamentalmente en la aplicación de N, P y K de forma empírica o basada en recomendaciones de estudios hechos en otros países, dejando a un lado la

aplicación de micronutrientes, los cuales son absorbidos por las plantas en cantidades muy pequeñas, pero que tienen un impacto favorable en la producción.

Elementos como el silicio (Si), que aunque es el segundo elemento más abundante de la superficie de la tierra, no es considerado como esencial para las plantas. Como resultado de esto, el Si es omitido en la formulación de soluciones nutritivas de uso rutinario y no era considerado en muchas investigaciones de fisiología vegetal (Epstein, 1994). A partir de 1840, numerosos laboratorios, invernaderos y experimentos de campo han demostrado los beneficios de la aplicación de fertilizantes silicatados para diversos cultivos (Snyder *et al.*, 2006). Las evidencias muestran que las estructuras de las plantas que crecen en ausencia de Si frecuentemente son más débiles y su crecimiento, desarrollo, viabilidad y reproducción son anormales; son más susceptibles al estrés abiótico, como toxicidad por metales, son fácilmente invadidas por organismos patógenos, insectos fitófagos y mamíferos herbívoros. La mayoría de estas respuestas se observan en plantas que crecen en suelos pobres en Si (Epstein, 1994). El Si refuerza las propiedades protectoras de las plantas contra enfermedades, ataque de insectos y las condiciones climáticas adversas; optimiza la fertilidad del suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas y manteniendo los nutrientes en forma disponible (Snyder *et al.*, 2006).

II. OBJETIVO

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de silicio aplicadas al suelo y al follaje en el crecimiento y estado nutrimental en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cv. Mariachi.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. *Lisianthus*

3.1.1. Origen

El *Lisianthus* pertenece a la familia de las Gencianáceas, cuyo nombre científico es *Eustoma grandiflorum* (L.) (Sinónimos *Lisianthus russelliana* y *Eustoma russellianum*) (Melgares de Aguilar, 1996a). Esta especie también es conocida como gentiana de las praderas o campana azul de Texas, es una flor silvestre originaria del oeste de Nebraska, Colorado, Wioming, sur de Dakota, Kansas, centro de Texas, así como del norte de México (Ohkawa *et al.*, 1991).

3.1.2. Descripción botánica

Es una planta de ciclo anual y/o perenne herbácea, erecta y a menudo con una roseta de hojas basales; presenta un tallo de 3 a 6 mm de diámetro y de 40 a 50 cm de longitud, con hojas sésiles, opuestas, enteras, adnadas, ovales a lanceoladas u oblongas, con 3 nervaduras, una longitud de 2 a 6 cm, de color verde grisáceo; tiene el tallo ramificado de la mitad hacia arriba donde sustenta los pedicelos florales en las axilas de las hojas superiores; las flores son vistosas con largos peciolos, solitarias o en panículas; cáliz largo con lóbulos en la quilla de 15 a 20 mm de longitud, acuminado; corola penta o hexalobulada campanulada o infundiliforme, compuesta por 5 a 6 lóbulos azules, morados y ocasionalmente blancos o rosas de 2 a 3 cm de longitud (Venning, 1992; citado por Cortés, 1998). Las flores presentan de 5 a 6 estambres; filamentos filiformes, anteras oblongas y en disposición recta; su cápsula es oval o elipsoidal de 10 a 15 mm, obtusa, con

una o dos valvas sobre un largo peciolo, sus semillas son pequeñas (0.04 mm de diámetro), cuando están secas son de color café oscuro, negro o pálidas (Heywood, 1985; citado por Cortés, 1998). El fruto es una cápsula (Corell, 1997; citado por Olvera, 2004). Las semillas son muy pequeñas pudiendo haber alrededor de 21,840 semillas por gramo o 624,000 semillas por onza (Nau, 1999; citado por Olvera, 2004).

3.1.3. Importancia

3.1.3.1. Internacional

El *lisianthus* es una importante planta ornamental cultivada principalmente en Europa, Japón y Estados Unidos (Ecker *et al.*, 1994). El interés de la producción de esta especie se relaciona con la gran diversidad de flores y su alta productividad.

Dentro de la Unión Europea y en general en el mundo, Holanda ocupa un lugar privilegiado; es el mayor productor de flores del Continente. Produce flores de alta calidad, por lo cual es muy competitivo. Este país es el mercado central de flores del mundo, y desde hace más de 100 años se dedica al cultivo, a la compra y venta de flores a escala internacional. Una parte importante de sus importaciones las vuelve a exportar y es un centro de remate y distribución, donde se definen los precios de las flores a través de su eficiente sistema de comercialización que son las subastas (Chalate-Molina *et al.*, 2008). En los últimos años el *lisianthus* se ha posicionado en las principales especies más vendidas y mejor pagadas dentro de las subastas holandesas.

En el mercado japonés, según el análisis económico realizado por El Centro de Inteligencia Competitiva, Económica y Tecnológica (INFOCENTER) para la Fundación para la Innovación Agraria del Gobierno de Chile, se vendieron en 2008 aproximadamente 410 millones de unidades de flores, de los cuales 23.4 millones de tallos fueron de lisianthus, el 2.8 % de ellos fueron importados y ocupa el tercer lugar en ventas con una tasa media de crecimiento anual de aproximadamente 5 %, dentro de las especies que se encuentran en evolución en cuanto a su producción y comercialización para este país.

Dentro del mismo estudio se menciona a los Estados Unidos como el principal mercado potencial para la exportación de lisianthus, ya que este país importó en 2008 aproximadamente 792 millones de dólares (80 % de las flores de corte que se consumen al año). El 82.3 % de las importaciones de flores de corte entran al mercado estadounidense, principalmente a través de Miami; seguido de Nueva York y Los Ángeles con el 5.1 y 4.1%, respectivamente; donde posteriormente estas son redistribuidas, además los principales países de origen de las flores cortadas, entre ellas el lisianthus, son Colombia con el 63.1%, seguido por Ecuador con el 16.9% y Holanda con el 7.6%. En particular el lisianthus ocupa el quinto lugar en ventas de las flores más atractivas importadas según el análisis del precio medio de ventas del mercado de Boston (INFOCENTER - FIA, 2010).

En Estados Unidos, Hankins (2009) reportó que en 2001 el precio medio del lisianthus, proveniente de California, al mayoreo era de 10 dólares el manojo de diez tallos; mientras que las flores de mayor calidad se vendieron en 1.5 dólares el tallo.

ASERCA (2004; citado por Olvera, 2004), reporta que el precio de flores de *lisianthus* provenientes de California en el mercado de Chicago se comercializa entre 9 y 10 dólares el ramillete con 10 flores; mientras que los provenientes de Ecuador, Florida y Holanda en el mercado de Boston oscilan entre los 10 y 11.5 dólares por ramillete.

3.1.3.2. Nacional

La floricultura en México se expande entre 1980 y 1990; la superficie cultivada creció de 3,000 a 13,000 hectáreas, los esfuerzos se encaminaron hacia la consolidación de la plataforma exportadora. En estos años el valor de la producción resultó significativo para los estados de México y Morelos (Chauvet y Massieu, 1996; citados por Orosco, 2007). En el periodo 1990-1998 la producción de flor de exportación representó 10 % de las 8,416 hectáreas de flores y plantas que se cultivaron en el país y generó una captación promedio de 20.3 millones de dólares anuales (García *et al.*, 1999; citados por Orosco, 2007).

El saldo positivo de la balanza comercial del periodo 1999-2002 expresó condiciones comerciales favorables; sin embargo, persistió la tendencia a la disminución del volumen y el valor de la producción de las exportaciones. Las oscilaciones manifestaron la pérdida de posicionamiento comercial del sector florícola exportador, lo cual se atribuye a la reducción de la demanda en los principales mercados de destino, entre ellos Estados Unidos, Canadá y algunos países de Europa (Orosco, 2007).

No obstante, la superficie sembrada de flores ha mantenido su participación en la superficie agrícola nacional (0.5% o 13,851 hectáreas) y su contribución en el valor agrícola ha ido en aumento (Grammont, 1999; citado por Orosco, 2007) durante el periodo de 2003 – 2004 la balanza comercial en el mercado de flores en México arrojó un saldo negativo, dado que en este periodo aún cuando las exportaciones aumentaron de 2,765.5 a 3,143.4 millones de dólares, las importaciones pasaron de 2,268 a 3,275 millones de dólares (Orosco, 2007).

En el intento de recuperar la posición comercial se ha optado por diversificar la oferta de flores de exportación, destacando el grupo de flores de mayor demanda (rosa, clavel, ave del paraíso, pompón, margarita y orquídeas) y el grupo de frescas variadas (gladiola, gypsophila, alstroemeria, aster, calla, crisantemo, delphinium, frisia, gerbera, iris, liatris, lirio, lisianthus, tulipán, statice limonium y palma camedor) (Orosco, 2007).

El lisianthus es considerada como una especie de alto potencial económico para el mercado nacional e internacional. Aun cuando no se cuenta con estadísticas sobre su cultivo y comercialización, se ha observado en el mercado que su aceptación va en aumento, ya que anteriormente era poco conocida y en los últimos años ha aumentado considerablemente su demanda y conforme se vaya manejando su comercialización se irá posicionando de un sector importante del mercado (Domínguez, 2002).

Olvera (2004) reporta dentro de su Evaluación Técnica Financiera de Lisianthus (*E. grandiflorum*) para Flor de Corte en Invernadero, que en la Central de Abastos (CEDA) de Ixtapalapa, D. F. México, el comercio del lisianthus oscilaba entre los

1,500 a 3,000 tallos semanalmente, a un precio de \$80.00 a \$120.00 el ramillete de 10 tallos. Por otro lado, los ramilletes de 10 tallos directamente en las florerías de la zona de Texcoco, Edo. de México el precio oscilaba entre los \$ 100.00 y \$ 150.00; mientras que al productor directamente se le pagaban por ramillete de \$ 45.00 a \$ 55.00.

Dentro del mismo estudio, Olvera (2004) reporta que el *lisianthus* cultivado en un invernadero de 1,188 m² es rentable con los siguientes parámetros: valor actual neto (VAN) de \$1,150,329.00, relación beneficio-costo (R B/C) de 1.56, relación beneficio-inversión neta (R B/K) de 2.9 y tasa interna de retorno (TIR) de 47.1 %; todo esto a una tasa de actualización de 15 %. El proyecto deja de ser rentable si el costo de producción se eleva un 98 % o el precio de venta disminuye 37 %, el punto de equilibrio (PE) se alcanza en el primer año con el 28.5 % de la producción.

3.1.4. Cultivares

Su introducción en Europa y Japón se hizo en los años 1830's. Los productores japoneses de flores empezaron a cultivar esta especie en las regiones más frías de Japón con el propósito de obtener flores de corte, estando disponibles únicamente flores moradas. Después de varios ciclos de cultivo, mediante hibridación, cruza y/o mutaciones, se obtuvieron plantas con inflorescencias blancas y rosas (Arellano, 1991; citado por Cortés, 1998).

A través de sucesivos programas de mejoramiento, realizados en su mayoría por empresas japonesas, se han obtenido cultivares híbridos F1 de flores blancas,

rojas, albaricoque o con mezcla de colores, con longitudes de tallo de 60 a 90 cm y con flores sencillas o dobles; estas últimas con dos o tres filas de pétalos (Melgares de Aguilar, 1996a). La flor de lisianthus fue reintroducida al viejo continente cerca del año 1935, siendo registrado por T. Sakata & Company's en el catálogo de exportaciones en 1952 (Arellano, 1991; citado por Cortés, 1998).

Actualmente existen empresas como Global Flowers, Sakata, Taki, PanAmerican Seed y Goldsmith, que son los principales ofertantes mundiales de nuevos cultivares de lisianthus. Diversos cultivares se suman año con año, con nuevos colores, reducción del arrosetamiento, resistencia al calor y a enfermedades, incremento de la germinación, mayor vigor de la planta, mayor fuerza en los tallos, la uniformidad en la floración en las plantas y la vida poscosecha (Dole y Wilkins, 2005).

Algunas casas suministradoras dividen las familias de variedades en tres grupos. El primer grupo lo componen las familias Fuji-heidi, Misato, Yodel y Dream. Su siembra va de mayo a enero y el periodo de plantación comprende de julio a marzo. En el segundo grupo se incluyen las familias Kioto-flamingo, Sapporo y Queen of Rose. Su siembra abarca los meses de diciembre a abril y la plantación, de marzo a junio. En el tercero se halla la familia Charm, que se siembra de febrero a abril y se planta de abril a mayo (Melgares de Aguilar, 1996a).

3.1.5. Ciclo de cultivo

El lisianthus, una vez plantado pasa por tres fases claramente diferenciadas: la primera etapa dura entre 20 y 30 días, y en ella la planta desarrolla poco su parte

aérea, al contrario de las raíces; la segunda, comprende otros 30 días aproximadamente, en ella el tallo se alarga y la planta emite tallos secundarios en número de tres a nueve dependiendo del cultivar, estos tallos alcanzan una altura entre 30 y 50 cm; al final de ésta aparecen los botones florales; y la tercera, en la fase final con duración de otros 30 días aproximadamente, los botones engrosan y se desarrollan, a la vez que sus pedúnculos se alargan hasta alcanzar su altura definitiva. Posteriormente los botones viran de color verde al propio de la variedad y finalmente abren. El número de éstos oscila entre cuatro y diez por tallo. En total el ciclo desde la plantación hasta la floración puede durar entre 90 y 120 días, dependiendo de la variedad y época de plantación (Melgares de Aguilar, 1996a).

Existen cultivares precoces como el Heidi (flor sencilla y tallos de 10 nudos) y Echo (flor doble y tallo de 10 nudos), los cuales se recomiendan para temporadas de días cortos y primavera. También existen cultivares de menor precocidad como Flamenco (flor sencilla y tallo con 13 nudos) y Mariachi (flor doble y tallo con 13 nudos), estas se recomiendan para temporadas de días largos para maximizar el largo de tallos o para lugares en los que haya una alta luminosidad (Sakata, 2011).

3.1.6. Exigencias climáticas

3.1.6.1. Luz

La floración no se ve influenciada por el fotoperiodo, por lo que no es necesario el uso de técnicas de iluminación para obtenerlas. Pero si podría mejorarse la calidad si se ilumina con luz artificial en épocas de baja radiación (Melgares de Aguilar, 1996a).

El lisianthus es una planta que tiene respuesta favorable a los días largos, por lo que se recomienda la aplicación de luz artificial (600-900 pies candela o 6,500-9,700 luxes) para completar de 15 a 20 horas de iluminación, ya que a partir de la sexta hoja verdadera los días cortos reducen el periodo de floración pero se obtienen tallos más cortos. Durante la etapa de la germinación requiere radiación de 100 a 300 pies candela o 1000 a 3000 lux. La luz ultravioleta intensifica el color de la flor (Sakata, 2011).

Los niveles óptimos de luz son de 4,000 a 6,000 pies candela (40,000 a 60,000 Lux). Los niveles más altos de luz fomentan un mayor número de botones y buen desarrollo de flores. Sin embargo, la luz excesiva (más de 7,000 p.c./70,000 luxes) puede reducir la longitud del tallo. La sombra puede ser necesaria para incrementar la longitud del tallo. Durante el invierno, cuando existen menos de 12 horas luz, puede utilizarse la luz suplementaria (incandescente o HID). Los días largos (más de 14 horas luz) o la interrupción nocturna de 10 P.M. a 2 A.M. aceleran la floración. La luz HID es preferible ya que aumenta la calidad de las flores y disminuye el tiempo de producción (PanAmerican Seed TM, 2012).

3.1.6.2. Temperatura

La sensibilidad del lisianthus a las altas temperaturas es elevada en el periodo inmediato después de la germinación de la semilla. Época en la que éstas pueden inducir a la planta a la formación de una roseta de hojas que no desarrolle el tallo floral, o que la floración se retrase mucho. Temperaturas del día entre 30 y 35 °C y nocturnas entre 20 y 25 °C, provocan la formación sistemática de estas rosetas. Esta sensibilidad es muy importante en el periodo que va desde la siembra hasta

la formación del cuarto par de hojas por lo que hay que asegurar temperaturas durante el día de 23 y de 18 °C durante la noche (Melgares de Aguilar, 1996a).

Los cultivares pueden ser agrupados con base en las temperatura mínima a la que se induce el arrosetamiento, considerando el promedio de las temperaturas más altas del día y la noche. Tomando en cuenta lo anterior y dado que la mayoría de los cultivares se desarrollan con temperaturas entre los 24 y 29 °C. Los cultivares se clasifican en: cultivares sensibles al calor, aquellos que no soportan temperaturas por arriba de 21 a 24 °C; cultivares tolerantes al calor, son los que soportan temperaturas por arriba de 31°C (Dole y Wilkins, 2005).

En el caso de la temperatura del suelo, Ohkawa *et al.* (1991) informaron que las semillas de *E. grandiflorum* son sensibles a las altas temperaturas, a partir de la absorción de agua durante germinación, los primeros meses de crecimiento y hasta que los dos primeros pares de hojas se han formado. Mientras que Harbaugh *et al.* (1992) trabajando con plantas de los cultivares Yodel Withe, Yodel Pink y GCREC Blue de 0, 10, 17, 24 y 31 días desde la siembra, cultivados en suelo a 28 °C durante 0, 7, 14, 21 y 28 días, determinó que el aumento en el periodo de exposición a altas temperaturas aumenta el porcentaje de plantas arrosetadas. En un segundo experimento con plantas de los cultivares USDA-Pink, Yodel Withe, Little Belle Blue y GCREC Blue cultivados por 3 semanas en suelo a 22 °C y posteriormente se expusieron por 28 días a temperaturas de 22, 25, 28 y 31 °C, Harbaugh *et al.* (1992) reportaron que el aumento en la temperatura del suelo da como resultado el aumento en el porcentaje de plantas arrosetadas.

La temperatura del suelo óptima para la germinación de semillas de *lisianthus* cv. Mariachi es de 21 °C, durante la etapa de crecimiento se debe mantener una temperatura mínima de 13 °C y una máxima de 25 °C; el óptimo de crecimiento se obtiene a los 23 °C (Sakata, 2011).

Pergola (1990) y Takeda (1988); citados por Ohkawa *et al.* (1994), concluyeron que *E. grandiflorum* requiere bajas temperaturas para romper el estado de roseta e inducir la floración. Llegaron a esta conclusión después de observar que las plantas de *lisianthus* cultivar Fukushimai que germinan durante los meses de julio o agosto, cuando las temperaturas medias diarias son de 25.3 a 26.7 °C forman rosetas por la exposición a las altas temperaturas y que el desarrollo y floración de estas plantas se produce sólo cuando son expuestas a temperaturas más bajas en invernaderos que no cuentan con calefacción.

Bajo el supuesto anterior Ohkawa *et al.* (1994), realizaron un experimento para determinar los efectos de la edad de las plántulas y los regímenes de temperatura y duraciones de la reversión del arrosamiento inducido por calor en *E. grandiflorum* cv. Fukushimai, en el cual reporta que las plántulas que se cultivaron en un fitotrón de luz natural (600 a $800 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) durante cuatro semanas a 33/28 °C (12-h noche/12-h día) desde la germinación hasta la cuarta hoja, la temperatura óptima y la duración requerida para romper la formación de rosetas era 15 °C durante 4 semanas con iluminación continua ($35 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Sin embargo, cuando las plántulas fueron cultivados durante 12 semanas a 33/28 °C, desde la germinación hasta la etapa de ocho hojas verdaderas, para la elongación de los brotes las plantas requieren ser expuestas a 10 °C durante seis semanas.

3.1.7. Propagación

La propagación del *lisianthus* puede ser sexual o asexual. La propagación asexual de esta planta puede hacerse mediante esquejes debido a que presenta un fácil enraizamiento, si se realiza en sustratos como la perlita y bajo un sistema de aspersión intermitente (Hass, 1986; Havelly, 1984; citados por Cortés, 1998). También se han hecho estudios en México para realizar la propagación de *E. grandiflorum* mediante el cultivo de tejidos; un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Cortés (1998), en el que se probaron diferentes medios de cultivo y diferentes concentraciones de éstos; así como diferentes concentraciones de auxinas para el enraizamiento, dando como resultado que el mejor medio para la propagación del *lisianthus* es el propuesto por Murashige y Skoog al 50% en una intensidad luminosa de 3,200 luxes y una concentración de $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de ácido indolbutírico para el enraizamiento. Sin embargo, la forma más usual de propagación de esta especie es la propagación sexual, aun cuando ésta presenta muchos inconvenientes como la germinación desuniforme de las semillas, lo cual dificulta la automatización de la siembra de las camas de germinación y por lo tanto aumenta el costo de las plántulas (Pérgola *et al.*, 1992; citados por Cortés, 1998).

La producción convencional de plántulas de *lisianthus* mediante semilla se realiza en bandejas multiceldas o “plug”, con control de temperatura y humedad; tanto del ambiente como del sustrato, evitando condiciones extremas que favorecen el arrojamiento. La plántula está lista para su trasplante entre los 60 y 70 días, según las condiciones ambientales durante su desarrollo; aunque en la práctica se

suele demorar hasta los 90 días, lo que produce grandes pérdidas (Ohkawa, 1992; citado por Barbaro *et al.*, 2009).

La siembra se realiza en charolas que contienen sustrato comercial. Las bandejas se colocan en estufas con temperaturas diurnas de hasta 25 °C y las nocturnas, no inferiores a 15 °C. Con lo cual se obtiene un ciclo de producción de plántulas de 60 días. Las plántulas son transplantadas cuando desarrollan 2 o 3 pares de hojas verdaderas expandidas (Camargo *et al.*, 2004).

Las plántulas deben ser regadas de manera uniforme y se debe mantener la humedad ambiental mediante un sistema de riego y de humificación (Grueber *et al.*, 1985., citados por Barbaro *et al.*, 2009).

Para el caso de plantas de *lisianthus* cv. Mariachi, Sakata (2011) recomienda la metodología siguiente:

Primera fase (días 1-14). La siembra se realiza en charolas de plástico de 405 cavidades preparando un sustrato con 60 % de peat moss y 40 % de perlita, la semilla se cubre con una capa ligera de vermiculita. El sustrato se mantiene húmedo, con una temperatura de 21 °C hasta la germinación y el pH debe estar entre 6.5 y 7.2 para proporcionar niveles suficientes de calcio. La iluminación debe estar entre 100 a 300 pies candela o 1 000 a 3 000 lux.

Segunda fase (días 14 - 21). Después de que emerge la plántula, las charolas se colocan en un lugar ventilado y a temperatura entre 15 °C y 20 °C. Hay que evitar las temperaturas nocturnas por arriba de 22 °C para no favorecer problemas de arrosetamiento. Fertilizar con 150 ppm de nitrógeno usando como fuente nitrato de

calcio. Usar un sistema de nebulización para mantener la humedad, usar un ligero sombreado.

Tercera fase (días 21 - 56). Las plantas jóvenes son de muy lento crecimiento y no deben ser expuestas a temperaturas nocturnas altas que inducen formación de rosetas. Otros factores que deben evitarse son los bajos niveles de luz y la humedad excesiva, que propicien enfermedad y el crecimiento excesivo de las plántulas. Hay que fertilizar las plántulas con 150 ppm de nitrógeno, según sea necesario y mantener el sustrato a una CE entre 0.7 y 1.0 mmhos.

Cuarta fase (días 56 - 60). Las plántulas deben tener cuatro hojas verdaderas en esta etapa y ahora están listas para el trasplante. El *lisianthus* tiene un sistema radical sensible por lo que se debe cuidar que la raíz llene la cavidad y tenga desarrollo hacia abajo, evitando que se pase de tiempo, ya que la raíz empieza a torcerse y acarrea pérdida de calidad y dificultades al trasplante. Para evitar la formación de rosetas en las zonas cálidas se deben mantener temperaturas nocturnas de 15 a 17 °C y diurnas de 25 a 27 °C.

Barbaro *et al.* (2009) realizaron ensayos para la producción de plántulas bajo el sistema flotante, usando como sustrato la mezcla de 70 % de turba y el 30 % restante complementado con vermiculita y perlita; para la fertilización se utilizó un fertilizante comercial soluble con N 20 %, P_2O_5 20 %, K_2O 20 %, Mg 0.05 %, B 0.0068 %, Cu 0.0036 %, Fe 0.05 %, Mn 0.025 %, Mo 0.0009 % y Zn 0.0025 % (Peters Professional®). Los resultados obtenidos fueron: mismo porcentaje de germinación, pero plántulas de mejor calidad en el sistema flotante, al encontrar

diferencias significativas en cuanto peso seco de tallo y raíz, con respecto al método convencional.

3.1.8. Plantación

Las plántulas están listas para su trasplante cuando desarrollan 2 o 3 pares de hojas verdaderas expandidas (Camargo *et al.*, 2004). La plantación se realiza inmediatamente después de la recepción de las plantas, en camas o tinas elevadas 20 cm por arriba del nivel del suelo y un metro de ancho con una densidad de 64 plantas por metro cuadrado. Como guía de plantación es recomendable utilizar una malla de un metro de ancho de ocho cuadros de 12.5 x 12.5 cm, disponiéndola en un principio a ras y que posteriormente se usará como tutor para las plantas. El riego se realiza por goteo colocando cuatro cintas por cama, una cada dos filas de plantas, con un gotero a cada 25 o 35 cm según el tipo de terreno (Melgares de Aguilar, 1996a).

La densidad de plantación recomendada por PanAmericanSeed™ (2012) para verano es de 84 plantas·m² neto; mientras que para invierno es de 64·m² neto. El espaciamiento dependerá de si se conducirá el cultivo a un solo tallo o se pinchara para llevarlo a dos o más tallos. En general, el espacio es de 10 cm entre plantas y 15 cm entre hileras, hay que tomar en cuenta organizar las plantas para mejorar el movimiento del aire y prevenir enfermedades (Sakata, 2011).

3.1.9. Características del suelo

El cultivo requiere de suelos con buen drenaje, alto contenido de materia orgánica, libre de patógenos, malas hierbas y alto contenido de nutrimentos; por lo que se

requiere de la remoción del suelo a una profundidad entre 60 y 80 cm, si el suelo es arcilloso se recomienda la aplicación de 60 a 80 cm³ de arena gruesa por m² y la aportación de 10 a 15 kg por metro cuadrado de estiércol de equino o vacuno. Una vez realizadas las labores preparatorias se debe homogenizar la mezcla con cultivadora o motocultor (Melgares de Aguilar, 1996a).

Se debe elegir un suelo con alto contenido de materia orgánica y libre de patógenos, con un pH entre 6 y 6.8 (Sakata, 2011) y la CE a menos de 1.0 mmhos/cm (PanAmericanSeed_{TM}, 2012).

En el cultivo de lisianthus en sistema hidropónico la CE varía dependiendo de la composición química de la solución nutritiva, la variedad a cultivar y las condiciones ambientales. Para el cultivo de lisianthus durante el verano se recomienda que la CE se encuentre entre 1 y 1.2 mS·cm⁻¹, mientras que en invierno debe ser de 1.5 a 1.6 mS·cm⁻¹; mientras que el pH debe estar entre 6 y 6.5. (Abou-Hadid *et al.*, 1996; Resh, 1997; Fox, 1998; citados por Backes *et al.* 2008).

Backes *et al.* (2008) reportaron niveles de contenido nutrimental similares en la materia seca de la parte aérea de plantas de lisianthus cultivados en tres diferentes soluciones nutritivas: solución prueba, solución nutritiva de Barbosa *et al.* (2000) y solución nutritiva de Steiner con CE de 1.99, 2.21 y 2.14 mS·cm⁻¹, respectivamente y pH entre 5.5 y 6.5.

Para el cultivo de lisianthus en maceta el sustrato debe tener buen drenaje, con un pH de 6.5 a 7.5, el mejor crecimiento se obtiene con un pH de 6.7. Un sustrato con

pH de 6.5 o menor resulta en una toxicidad nutrimental; los síntomas incluyen clorosis, crecimiento radical pobre, necrosis en el borde y ápice de las hojas y un crecimiento raquítrico (Dole y Wilkins, 2005).

3.1.10. Fertilización

El cultivo del lisianthus requiere de altos niveles nutrimentales, ya que la insuficiencia de nutrimentos da como resultado plantas pequeñas, reduce el desarrollo de brotes basales y axilares y conduce a la formación de pocas flores y genera síntomas de deficiencia. Para plantas en maceta, una vez que las raíces de estas se han establecido en los contenedores se deben fertilizar dos veces a la semana con 250 ppm de N y K. El lisianthus requiere de altos niveles de potasio y calcio con una relación de 1:1.5. Se recomienda el uso de nitrato de calcio y nitrato de potasio como fertilizantes principales para mantener los niveles altos de pH (6.5 a 6.8) del sustrato (Dole y Wilkins, 2005).

Camargo *et al.* (2004) reportan que la absorción de nutrimentos para lisianthus cv. Echo cosechados a 120 días fue: 238.8 N; 157.1 K; 33.9 S; 17.5 Mg; 14.9 P; 10.6 Ca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y micronutrimentos: 1,281.3 Fe; 294.4 B; 127.1 Mn; 121.1 Cu y 35.8 Zn ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$). En la etapa de plántulas fueron utilizados en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$: 38.5 N; 1.7 P; 31.6 K; 15.5 Ca; 0.06 Mg; 2.7 S; y micronutrimentos se aplicaron a una dosis ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) de: 44.8 B; 14.4 Cu; 32.8 Mn; 32.8 Mo y 3.0 Zn; en la fase de crecimiento se utilizaron para los macronutrimentos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 222.6 N; 5.5 P; 172.8 K; 114.3 Ca; 1.0 Mg; 13.4 S y micronutrimentos ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$): 67.9 Cu; 196.9 Mn; 195.7 Mo y 45.6 Zn y en la etapa de floración se utilizaron: 114.1 N; 4.1 P; 106.4 K; 80.1 Ca; 0.3 Mg; 8.6 S ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y micronutrimentos ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$): 38.1 Cu; 187.9 Mn; 177.2 Mo y

57.6 Zn. Manteniendo la conductividad eléctrica de la solución nutritiva (CE) a 0.9 mS cm⁻¹.

Backes *et al.* (2007 y 2008) obtuvieron buenos resultados en el crecimiento, desarrollo y absorción nutrimental en diferentes cultivares de *lisianthus* con el uso de la solución nutritiva propuesta por Barbosa *et al.* (2000), la solución nutritiva de Steiner y una solución nutritiva de prueba cuya composición de macronutrientes de NO₃⁻; NH₄⁺; H₂PO₄⁻; K⁺; Ca²⁺; Mg²⁺ y SO₄²⁻ en mmol·L⁻¹ fue de: 11.51; 2.88; 1.95; 12.92; 1.51; 0.5 y 1 para la solución de Barbosa, 9; 3; 1; 7; 4.5; 2 y 3.5 para la solución de Steiner y 12.8; 3.2; 0.7; 6.6; 1.5; 2.7 y 3.3 para la solución nutritiva de prueba. La composición de los micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn en mol·L⁻¹ fue de 30, 0.5, 60, 30, 0.5 y 1.5 en las soluciones de nutrientes para la producción de *lisianthus* en hidroponía bajo el sistema de flujo laminar de nutrientes.

Velázquez (2008) reporta que la extracción total nutrimental de *lisianthus* cv. Mariachi fue de 24.1, 4.58, 32.61, 7.79, y 11 de N, P, K, Ca y Mg en kg·ha⁻¹ y 171.6, 137.5, 204.1, 86, 38 y 5,613.1 g·ha⁻¹ de Fe, Mn, Zn, B, Cu, y Na, respectivamente.

3.1.11. Plagas y enfermedades

Melgares de Aguilar (1996b) reporta que en este cultivo se han detectado las siguientes plagas: minador de la hoja (*Lyriamiza trifolii*), trips (*Frankliniella occidentalis*), larvas del orden lepidóptera de la familia Noctuidae de los géneros *Heliothis* y *Plasia*, y en el suelo plagas como gallinas ciegas (*Phylophaga* sp.) y

gusano de alambre (Coleóptera, Elateridae). De las enfermedades se reportan: *Botrytis*, oidiosis o cenicilla (*Leveillula taurica*), mal de pie o mal de cuello causado por el complejo de hongos de los géneros *Phytophthora*, *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*; así como el virus bronceado del tomate (Tomato Spott Wil Virus, TSWV).

Los principales patógenos que atacan las raíces del lisisanthus son: *Pythium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*; mientras que *Penicillium* sp. y *Botrytis* atacan principalmente al tallo (Raabe, 1990 y Loschenkohl, 1988; citados por Cortés, 1998).

Schochow *et al.* (2004) reportaron daños significativos en la producción de lisanthus para flor de corte causados por nemátodos *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* y *M. hapla*.

3.2. Silicio

3.2.1. Silicio en el suelo

El silicio (Si) es un elemento químico metaloide, número atómico 14 y masa molecular $28.0855 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, situado en el grupo cuatro de la tabla periódica de los elementos químicos formando parte de la familia de los carbonoides. Es el segundo elemento más abundante sobre la superficie terrestre (27 %) detrás del oxígeno (43.8 %). El silicio no se encuentra libre de forma natural, sino como constituyente de rocas, arenas y arcillas, combinado con oxígeno en forma de SiO_2 y en metales conocidos como silicatados. Este elemento forma parte de aproximadamente el 40 % de todos los minerales comunes, incluyendo más del 90

% de las rocas ígneas. El cuarzo, variedades del mismo como: carneola o cornalina, crisoprasa, pedernal y jaspe, y los minerales cristobalita y tridimita; son las formas cristalinas existentes del silicio. Los silicatos de aluminio, calcio y magnesio son los constituyentes principales de arenas, rocas y suelos en forma de feldespatos, anfíboles, piroxenos, micas y zeolitas; así como de piedras semipreciosas como la olivina, granate, circón, topacio y turmalina (Trejo-Téllez *et al.*, 2009).

Los compuestos de silicio ocupan el 60 % de los componentes del suelo, encontrándose en los suelos arenosos en mayor cantidad, aunque el porcentaje de silicio puede reducirse cuando éste aparece diluido por niveles muy altos de otros componentes: materia orgánica en suelos turbosos o CaCO_3 en suelos calcáreos. Las formas de silicio activas, física y químicamente en el suelo son representadas por ácidos monosilícicos solubles y rápidamente absorbibles, ácidos polisilícicos y organosilicatados. El ácido silícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ es producto de la disolución de minerales ricos en silicio, es absorbido a sesquióxidos y reducido a valores de pH mayores de 9.4 (Trejo-Téllez *et al.*, 2009) y su concentración en forma soluble, como ácido silícico, está entre 35 y 40 $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$ o 0.1 a 0.6 $\text{mM}\cdot\text{m}^{-3}$ (Epstein, 1999; Ma *et al.*, 2004; Fauteux *et al.*, 2005).

3.2.2. Absorción y transporte de silicio en las plantas

Las plantas absorben el silicio bajo la forma soluble de ácido silícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, el cual está presente en la solución del suelo, en un valor de pH de 2 a 9 y debido a su abundancia todas las raíces de las plantas que crecen en suelo lo contienen en sus tejidos (Trejo-Téllez *et al.*, 2009). El Si está presente en las plantas en

cantidades equivalentes a los nutrientes, como Ca (0.1 a 0.6 %), S (0.1 a 1.5 %), Mg y P. Su contenido es variable y depende fundamentalmente de la especie, pudiendo oscilar entre 0.1 y 10 % del peso seco de las plantas superiores (Epstein, 1999). En general, las monocotiledóneas acumulan más Si que las dicotiledóneas, aunque las diferencias pueden darse incluso a nivel de variedad (Epstein, 1999; Ma *et al.*, 2002). Las poáceas, ciperáceas y commelináceas están entre las monocotiledóneas que acumulan más Si y dentro de las dicotiledóneas, las urticáceas y cucurbitáceas son las que presentan niveles más altos de Si. No obstante, los análisis realizados indican que la concentración de Si, y por lo tanto la presencia de fitolitos, es más influenciada por la posición filogenética (género, especie) que por factores ambientales; tales como disponibilidad de agua y del mismo Si, o la temperatura (Hodson *et al.*, 2005). En función de la concentración de silicio Takahashi *et al.* (1990) dividieron las plantas en: 1) acumuladoras (10 - 15%), 2) intermedias (1-5%) y no acumuladoras de silicio (< 5%).

Generalmente se acepta que el ácido silícico es transportado por las plantas de la misma forma que el agua; es decir, acarreada mediante el flujo transpiratorio hacia las terminales de transpiración. El silicio absorbido por la raíz es transportado a la parte aérea y depositado en las hojas, se incorpora a las células dentro de la pared celular; especialmente en la epidermis, células del estoma y del tricoma, o bien se deposita junto con otros elementos, lo que resulta en un incremento de depósitos amorfos conocidos como fitolitos (Epstein, 1999).

Tamai y Ma (2003) mencionan que al igual que el boro, el silicio es absorbido en forma de una molécula no disociada mediante transportadores aun no identificados.

La absorción y el transporte del Si pueden ser activos o pasivos dependiendo de la especie analizada. Un transporte activo ha sido demostrado en algunos miembros de la familia Cyperaceae, de las Gramíneas y de las dicotiledóneas. Se demostró por ejemplo, que en pepino (*Cucumis sativus*) la absorción de Si y el transporte pueden ser fuertemente inhibidos por la baja temperatura y 2,4 dinitrofenol; lo cual demuestra que es un proceso activo, pero los mismos inhibidores metabólicos no tuvieron ningún efecto en haba (*Vicia faba*) (Liang *et al.*, 2005; citados por Coradin *et al.*, 2006). Además, la evidencia de los mecanismos de transporte directos de Si se ha obtenido de varias especies de plantas, y se comprobó que las plantas poseen dos tipos diferentes de sistemas de captación de Si. En el arroz, pepino y tomate se demostró un transporte radial desde la solución externa a las células corticales de las raíces y luego la liberación del Si de las células corticales en el xilema (Mitani y Ma 2005; citados por Coradin *et al.*, 2006). Este estudio también demostró la difusión del transportador mediado y pasivo de Si están involucrados en el transporte radial de Si y que el transporte mediado por transportadores es un proceso dependiente de energía (Mitani y Ma 2005; citados por Coradin *et al.*, 2006). Los estudios cinéticos del transporte radial mostraron que el valor de K_m (constante de Michaelis-Menten) fueron aproximadamente los mismos en el arroz, pepino y tomate, y alrededor de 0.15-0.16 mM. Las diferencias en la V_{max} (velocidad máxima de reacción enzimática) de estas tres especies fueron

interpretadas por las diferencias en la densidad del transportador en las membranas celulares de las raíces entre las especies de plantas, siguiendo el orden de arroz > pepino > tomate. La carga de xilema con Si también está mediada por una especie de transportador en arroz, pero sólo por difusión pasiva en pepino y tomate. En resumen se cree que existen dos diferentes tipos de transportadores, uno situado en la membrana plasmática de las células corticales de la raíz (SIT1) y otro situado en la membrana plasmática de las células del parénquima del xilema (SIT2) (Ma *et al.*, 2004). El transporte de la solución externa a las células corticales se compone de un transportador SIT1 y una difusión pasiva en el arroz, el pepino y el tomate. El silicio es transportado pasivamente a xilema en pepino y tomate, y por un SIT2 transportados en el arroz (Coradin *et al.*, 2006).

En la actualidad se sabe que el Si en las plantas se acumula en el citoplasma y vacuolas. Por análisis de energía dispersiva de rayos X y electrospectroscopía de imágenes se comprobó que el Si también se acumula en invaginaciones citoplasmáticas y vesículas en las vacuolas. A partir de estas observaciones y otras, se propuso un modelo según el cual el Si pudiera entrar en la célula desde el espacio extracelular por endocitosis y translocación directa en la vacuola (Coradin *et al.*, 2006).

En las células de plantas acumuladoras de zinc y silicio se han identificado invaginaciones citoplasmáticas y vesículas vacuolares. Las invaginaciones celulares están formadas por el plasmalema y el tonoplasto, incluyendo pequeñas partes del citoplasma entre las dos membranas. Mediante este mecanismo estas células son capaces de acumular grandes cantidades de este elemento, hasta

alcanzar concentraciones que provocan su precipitación. En plantas altamente acumuladoras de zinc este es almacenado temporalmente como silicato de zinc en el citoplasma, el cual por su inestabilidad es lentamente degradado a SiO_2 ; los precipitados de silicio se han encontrado en el citoplasma, mientras que los acumulados de zinc en el interior de las vacuolas (Trejo-Téllez *et al.*, 2009).

Las plantas no acumuladoras de silicio presentan de manera general endodermos en sus raíces, lo que facilita la exclusión de ácido silícico en relación al agua. Esto puede ocurrir aun si estos compuestos entran por movimiento no catalizado a través del componente lipídico del plasmalema o probablemente cuando entra por las acuaporinas (Trejo-Téllez *et al.*, 2009).

3.2.3. Efectos del silicio en las plantas

La esencialidad del silicio es una cuestión muy discutida. Con respecto a esto, los resultados de gran número de investigaciones han hecho pensar en tal posibilidad, ya que el silicio se presenta en el tejido vegetal como componente constante y en notable proporción (Navarro, 2003).

Diversos investigadores consideran que puede ser esencial para las plantas que presentan altos contenidos de silicio, como la cebada, girasol, remolacha y, sobre todo, para el arroz según experimentos de A. Okuda y E. Takahashi realizados en 1965. Pero de forma similar a lo que ocurre con otros elementos como el sodio, no hay una confirmación científica suficiente que permita aceptar al silicio como esencial para todas las plantas (Navarro, 2003).

Su función en la planta no está establecida. La similitud química con fósforo y boro, ha hecho que algunos autores piensen en la posibilidad de que el silicio pueda reemplazar o interferir en determinadas funciones, como por ejemplo: condensarse con azúcares-alcoholes o ácidos orgánicos. Estas interacciones Si-P y Si-B requieren aún una mayor investigación (Navarro, 2003).

Lo que sí parece claro es el efecto positivo que el silicio ejerce en el crecimiento y rendimiento de la planta de arroz. Desde 1945, algunos científicos japoneces lo consideran un elemento esencial para este cultivo. Utilizando soluciones nutritivas con silicio, han demostrado que se incrementa el número de tallos, su altura y el peso de granos maduros.

Algunos autores, incluso, han llegado a describir deficiencias en cereales y pastos, que se manifiestan como marchitamiento de la planta, deformaciones, manchas necróticas en las hojas y disminución en la resistencia a plagas y enfermedades. Estas alteraciones; sin embargo, se consideran por otros investigadores debidas más que a un estado de deficiencia de silicio, a los efectos tóxicos que se originan por acumulación de hierro, manganeso y otros nutrimentos, cuando las concentraciones de silicio son extremadamente bajas (Navarro, 2003).

Los fisiólogos vegetales no consideran al Si como un elemento esencial para las plantas; sin embargo, se ha reportado que la presencia de Si beneficia a los cultivos, por inducción de resistencia y protección contra diversos factores ambientales bióticos y abióticos (Epstein, 1999).

El papel del Si en el caso del incremento de la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, ha sido atribuido en parte a su acumulación y polimerización en las paredes celulares, lo cual constituye una barrera mecánica contra el ataque (Batista *et al.*, 2005). En la epidermis el silicio se concentra en el tejido epidérmico como una fina capa de membrana de silicio-celulosa y se asocia con la pectina y los iones de calcio; de esta forma, la doble capa cuticular puede proteger y fortalecer las estructuras de la planta (Snyder *et al.*, 2006).

También se ha demostrado que el tratamiento de las plantas con Si trae como consecuencia la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas. En plantas como calabacita (*Cucurbita sp.*), avena (*Avena sativa*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) se ha observado que la fertilización con Si trae como consecuencia un aumento en la síntesis de peroxidasas, polifenoloxidasas, glucanasas y quitinasas; estas enzimas están relacionadas con un incremento en la producción de quinonas y especies reactivas de O₂ que tienen propiedades antibióticas, favorecen la mayor lignificación de los tejidos, la disminución en la calidad nutricional y la digestibilidad, todo lo cual genera, consecuentemente, un decremento en la preferencia de los insectos por las plantas (Batista *et al.*, 2005).

Por otro lado, se ha demostrado que el Si disminuye la toxicidad de distintos elementos. En plantas de cebada (*Hordeum vulgare*) cultivados *in vitro* se evaluó el efecto de la adición de Si en la toxicidad por manganeso. Las plantas cuyo medio fue adicionado con 9.1 µM de Mn presentaron manchas necróticas que fueron prevenidas por la adición de Si 357 µM (10 ppm). Las hojas presentaron un contenido similar de Mn, pero al parecer el Si favoreció su distribución a través de

toda la hoja y evitó la aparición de las manchas (Epstein, 1999). El Al, con un 8.2% de abundancia en la litosfera, se encuentra en concentraciones elevadas en suelos ácidos, condición en la que resulta tóxico a las plantas. El algodón (*Gossypium hirsutum*) es muy sensible a 200 μM de Al en solución, pero la toxicidad es mitigada por la presencia de Si (Epstein, 1999). Experimentos con maíz (*Zea mays*) han mostrado que la presencia de Si no afecta la concentración de Al monomérico en el medio externo; sin embargo, disminuye los efectos inhibitorios del Al sobre el alargamiento de la raíz. Esta respuesta es atribuida a la formación de aluminosilicatos de baja solubilidad en el apoplasto del ápice de la raíz, reduciendo la concentración de iones Al^{3+} en el medio (Epstein, 1999; Wang *et al.*, 2004).

Otro elemento tóxico que ha sido utilizado para estudiar la importancia del Si en plantas es el germanio. Los síntomas de toxicidad por Ge en plantas se observan como manchas castaño en las hojas, así como una reducción en el crecimiento y en el desarrollo de la raíz y las hojas. Sin embargo, las plantas discriminan entre el Ge y el Si. Basados en esta propiedad, investigadores japoneses aislaron mutantes de arroz tolerantes a Ge y deficientes en la absorción de Si, sin diferencias morfológicas en el desarrollo de la raíz, pero con hojas menos erectas que las antecesoras. En las plantas de arroz no modificado la presencia de Ge provocó disminución del crecimiento en un 40%, mientras que en la mutante con mayor tolerancia (GR1) no se observó tal reducción. Al ser cultivados con 0,15 a 15 mM de Si, su absorción llegó a ser de hasta 11% respecto al Si absorbido en un lapso de 12 h, por las no modificadas y acumularon de 3.2 a 4.3 veces menos

Ge en el vástago, sin disminuir los contenidos de P y K. Aunado a esto, la presencia de inhibidores metabólicos (cianuro y dinitrofenol), así como las temperaturas bajas que inhiben la absorción de Si en plantas sin modificar, no afectaron el nivel de absorción del mutante GR1. Todo esto indica la presencia de un transportador de Si en las raíces de las plantas de arroz (Ma *et al.*, 2002). Otros estudios sugieren que, efectivamente, la absorción, transporte y deposición del Si es controlada genéticamente. En arroz se ha encontrado una asociación genética entre QTLs (*Quantitative Trait Loci*) para el contenido de Si, QTLs para rendimiento y QTLs para tolerancia al acame (Min *et al.*, 2005). En *Zea* y *Cucurbita* la formación de fitolitos está bajo el control de un *locus* genético que también tiene influencia sobre cambios fenotípicos seleccionados durante el proceso de domesticación (Piperno *et al.*, 2002).

El silicio también ha sido reconocido por aumentar la eficiencia en la captación de la luz solar (Yoshida *et al.*, 1969) e incrementar el desarrollo de una amplia gama de especies (Adatia y Besford, 1986). Por ejemplo Wang y Galletta (1998) encontraron que en plantas de fresa tratadas con aplicaciones foliares de silicio se incrementa el contenido de clorofila, ácidos orgánicos, fosfolípidos y glucolípidos; contribuyendo al mantenimiento de la fluidez de las membranas celulares e induciendo su división, lo que trae como consecuencia un aumento en el crecimiento de la planta.

El ácido silícico desempeña un papel importante en la regulación de la absorción y balance de minerales en las plantas. Este, en conjunto con el calcio, están presentes en el mantenimiento de la integridad y fortaleza de la pared celular y en

varias funciones metabólicas involucradas en el crecimiento y desarrollo (Epstein, 1999).

Además el ácido silícico mejora la utilización del fósforo al reducir la absorción de manganeso y en menor grado la del hierro del suelo. El ácido silícico dentro de la planta también reduce los niveles internos del manganeso y otros metales pesados a través de la precipitación de compuestos como Si-Mn o Si-Fe. Esto mejora la tolerancia de las plantas (al reducir la toxicidad potencial) a los metales pesados, al asegurar su dilución o distribución más uniforme (Epstein, 1994; Gascho, 1977; Elawad y Green, 1979).

El ácido silícico del suelo también permite aumentar la absorción de potasio y mejora la tolerancia de las plantas a las condiciones de estrés por salinidad. Se ha observado un incremento a la tolerancia de sodio; principalmente debido a que el silicio reduce la permeabilidad de las membranas a este elemento nocivo. El resultado es un bajo nivel de sodio, pero un alto nivel de potasio en la savia (Epstein, 1999).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

El experimento se realizó en un invernadero de cristal del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, geográficamente ubicado entre los 19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a 2 240 msnm.

4.2. Establecimiento del Experimento

Se utilizaron 200 plántulas de *lisianthus* cv. Mariachi provenientes del estado de Morelos de la empresa Plántulas de Tetela S. de R.L. de C.V.; las plántulas se trasplantaron el día 6 de junio de 2011 cuando tenían de 2 a 4 pares de hojas completamente desarrolladas, plantadas a una distancia de 12.5 x 12.5 cm (64 plantas · m⁻²) en ocho camas de cultivo de 62.5 x 62.5 x 20 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente.

El sustrato utilizado fue una mezcla de suelo, perlita, vermiculita y tezontle a razón de 16, 8, 6 y 2 partes, respectivamente. Este fue desinfectado con bromuro de metilo y después se realizó el análisis de laboratorio para determinar sus características físico químicas: pH, contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la concentración de nutrimentos disponibles (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B). Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del sustrato utilizado en el cultivo de lisianthus (*E. gradiglorum* L.) cv. Mariachi bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

Propiedad	Valor	Interpretación*
pH	6.39	Ligeramente ácido
CE (dS·m ⁻¹)	4.66	Alta
CIC (Cmol(+)-Kg ⁻¹)	26.1	Alto
M.O. (%)	2.29	Moderadamente alto
N (mg·kg ⁻¹)	73.1	Moderadamente alto
P (mg·kg ⁻¹)	33.64	Moderadamente alto
K (mg·kg ⁻¹)	666	Moderadamente alto
Ca (mg·kg ⁻¹)	4661	Moderadamente alto
Mg (mg·kg ⁻¹)	1354	Alto
Cu (mg·kg ⁻¹)	3.64	Alto
Fe (mg·kg ⁻¹)	33.53	Alto
Zn (mg·kg ⁻¹)	12.22	Medio o adecuado
Mn (mg·kg ⁻¹)	108.29	Muy alto
B (mg·kg ⁻¹)	2.36	Moderadamente alto

*según Castellanos *et al.* (2000).

4.3. Definición de Tratamientos

Se evaluaron los efectos del silicio incorporado al sustrato mediante la aplicación de la dosis comercial, 25 kg por metro cubico de sustrato, de los fertilizantes que contienen este elemento en diferentes concentraciones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de silicio y otros nutrimentos presentes en los fertilizantes aplicados al sustrato para la producción de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi.

PRODUCTO COMERCIAL	NUTRIMENTO					
	Silicio (SiO ₂)	Calcio (CaO)	Magnesio (MgO)	Hierro (Fe)	Zinc (ZnO)	Potasio (K ₂ O)
	(%)					
SILIFERTIDOL	7-9.5	29-32	12-15.1	2-3.5	2.5-4	1-1.5
SILIFERTIDOL PLUS	11.5-14	20-30	10-12.1	2-3.5	3-5.1	1.5-2
SILIFERTIDOL ULTRA	19-21	10.1-12	5.1-7	4.1-6	4.1-6	2-2.5
FOSFOSILIDOL	14.5-15.9	10.1-13	1.5-2	1.5-1.8	1.5-1.8	2-2.5

Antes del llenado de las camas de cultivo se mezclaron perfectamente 1.8 kg del fertilizante correspondiente con 0.072 m³ del sustrato para formar los primeros cuatro tratamientos; el resto del sustrato se utilizó para llenar las cuatro camas restantes para los tratamientos de fertilización foliar y el testigo. Para la evaluación de los efectos de la fertilización foliar con silicio se llevaron a cabo aplicaciones del producto comercial a base de silicato de potasio Kasil 6 (K₂SiO₃, 39.2%) a

concentraciones de 2, 4 y 8 mM de silicio acondicionando la solución con buferizante (DAP PLUS, $1\text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$) y adherente (Inex-A, $0.5\text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos aplicados en el cultivo de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi.

Tratamiento	Características
T1	SILIFERTIDOL 36.25-48.05 g de Si (SFD)
T2	SILIFERTIDOL ULTRA 96.1- 106.22 g de Si (SFDU)
T3	FOSFOSILIDOL 73.34-80.37 g de Si (FSD)
T4	SILIFERTIDOL PLUS 58.17-70.81 g de Si (SFDP)
T5	KSIL al 2 mM de Si (KSil 2)
T6	KSIL al 4 mM de Si (KSil 4)
T7	KSIL al 8 mM de Si (KSil 8)
T8	TESTIGO

Las aplicaciones se hicieron a los 60, 75, 90 y 105 días después del trasplante; para las aplicaciones se usó una aspersora manual de 4 litros de capacidad marca Swissmex, equipada con una boquilla de plástico con 4 salidas. Las plantas tratadas foliarmente se separaron del resto con una cortina de polietileno para evitar la contaminación cruzada de los tratamientos con las soluciones asperjadas.

4.4. Manejo del Cultivo

Antes del trasplante las raíces de las plántulas se trataron con fungicidas a base de Metalaxil y Procloraz mediante el método de inmersión para protegerlas de posibles patógenos en el sustrato. Posteriormente se mantuvo el monitoreo

constante de plagas y enfermedades para realizar un control oportuno de las mismas, con la finalidad de evitar que sus daños interfirieran en los resultados del experimento. Presentándose únicamente el ataque de trips (*Frankliniella occidentalis*) durante la floración; éste se controló mediante la aplicación de un insecticida a base del ingrediente activo spynosad.

Antes del trasplante se dio un riego pesado al sustrato para asegurar que el cultivo no pasara por estrés hídrico en la etapa de establecimiento. Posteriormente se dieron riegos ligeros cada 2 o 3 días, dependiendo de la temperatura y las observaciones de las condiciones de humedad del sustrato, para mantenerlo al 80% de la capacidad de campo.

Durante los primeros 30 días después del trasplante del cultivo se controlaron las temperaturas mediante la colocación de una doble capa de malla sombra; así como la nebulización de agua, para también aumentar la humedad relativa dentro del invernadero. Además se mantuvo el monitoreo de las temperaturas máximas y mínimas del en el invernadero durante el periodo de cultivo, las condiciones de temperatura predominante se presentan en el Cuadro 4.

Todos los tratamientos fueron fertilizados mediante la aplicación de nitrato de potasio a dosis de $0.75 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de agua (0.5 litros de la solución por cada tratamiento), a los 40 y 90 días después del trasplante para complementar la nutrición de las plantas.

Para poder apreciar el efecto de la aplicación del silicio sobre las características químicas del suelo se realizó la medición del pH y la CE antes y después del

experimento. Las mediciones de pH y CE se realizaron mediante un potenciómetro y conductivímetro digital marca Conductronic modelo PC45.

Cuadro 4. Temperaturas predominantes durante el ciclo del cultivo de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

Mes	Temperatura (°C)		
	Max	Min	Media
Junio	31.8	13.4	22.9
Julio	33.4	11.7	22.9
Agosto	34.4	11.8	23.2
Septiembre	35.5	9.4	23.2
Octubre	34.1	4.7	20.6

4.6. Diseño Experimental

En el presente trabajo se usó un diseño experimental completamente al azar con 8 tratamientos (cuatro tratamientos edáficos, tres tratamientos foliares y un testigo) con 25 repeticiones por tratamiento, cuya unidad experimental la constituyó una planta.

4.7. Variables a Evaluar

Se tomó como variable respuesta los parámetros agronómicos: longitud de tallo (LT), diámetro de tallo (DT), número de botones florales (NB), número de hojas (NH), área foliar (AF), peso seco de flor, tallo y raíz (PSF, PST y PSR); los parámetros fisiológicos: contenido de clorofilas a, b y total (CCa, CCb, CCT) y la concentración de nutrimentos: N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Si.

4.7.1. Variables de crecimiento

Entre los 113 y 120 días, cuando la mayoría de los tratamientos presentaron la apertura total de la primera flor se cosecharon 15 plantas al azar por tratamiento, las cuales se trasladaron al Laboratorio de Fisiología Vegetal del Departamento de Fitopatología para evitar que el aumento de la temperatura en el invernadero deshidratara el tejido vegetal y produjera sesgos en la lectura de las mediciones, la cosecha se realizó durante las primeras horas del día, entre las 8 y 9 de la mañana.

4.7.1.1 Diámetro y longitud de tallo

El diámetro de los tallos (DT) se tomó en la parte media del entrenudo de la base de la parte aérea de la planta, se midió con un vernier digital. La longitud del tallo (LT) se tomó a partir de la base de la planta por arriba del sustrato, hasta la cima de la corona de la última flor, este dato se registró con el apoyo de una regla graduada para las plantas pequeñas y una cinta métrica para las plantas con mayor altura.

4.7.1.2. Número de hojas y área foliar

Para obtener el número de hojas (NH) se arrancaron las hojas desde la base, se contaron las hojas, cuya longitud era mayor o igual a 1 cm. Estas mismas se utilizaron para la determinación del área foliar (AF) que se llevó a cabo mediante el uso de un integrador de área foliar LI-COR 3100.

4.7.1.3. Número de flores

Para determinar el número de flores (NF) se contabilizaron flores abiertas y los botones florales que se encontraban claramente visibles (longitud de 0.5 cm).

4.8. Variables Fisiológicas

4.8.1. Contenido de clorofila

Se determinó el contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total, mediante la metodología descrita por Withan *et al.* (1971). Para esta determinación se tomó la hoja situada en la base del pedúnculo de la primera flor de cinco plantas seleccionadas al azar del mismo tratamiento, para tener cinco repeticiones. Se tomó 0.1 gramo de la hoja antes mencionada, se maceró en un mortero con 3 ml de acetona al 80% V/V y se dejó reposar por 3 minutos. Posteriormente se transfirió el líquido verde a un embudo Buchner con un filtro Whatman No. 1 acoplado a un matraz Kitasato de 10 ml; al residuo se le adicionaron 2 ml de acetona y se dejó reposar. Posteriormente se aforó a 10 ml para obtener el volumen final y determinar la densidad óptica o absorbancia a 645 y 663 nm en un espectrofotómetro Marca Thermo Spectronic Modelo Genesys 10UV.

La cantidad de clorofila en miligramos por cada gramo de tejido fresco se calculó con las siguientes fórmulas:

$$\text{mg de clorofila a/g de tejido} = [12.7(D_{663}) - 2.69(D_{645})] \times V/(1000 \times W)$$

$$\text{mg de clorofila b/g de tejido} = [22.9(D_{645}) - 4.68(D_{663})] \times V/(1000 \times W)$$

mg de clorofila total/g de tejido= $[20.2(D645) + 8.02(D663)] \times V/(1000 \times W)$

Donde:

D663= dato de la lectura a 663 nm.

D645= dato de la lectura a 645 nm.

V= volumen de aforo (10 ml)

W= peso de la muestra de tejido (0.1g)

4.8.2. Acumulación de biomasa

Una vez que se tomaron los datos en fresco, las 15 plantas de cada tratamiento se separaron en raíz, tallo y flores, y fueron sometidas a un cuádruple lavado: una vez con agua de la llave para eliminar la mayor cantidad de suciedad de campo (principalmente de la raíz) y tres veces más en agua destilada para asegurar la limpieza. Las plantas se dejaron escurrir sobre toallas sanitas hasta eliminar el exceso de agua, se metieron en bolsas de papel perforado, debidamente etiquetadas con el número de tratamiento y repetición, y se dejaron secar durante 72 horas a 65 °C en una estufa con aire forzado marca BINDER; después de concluido el periodo de secado se separaran los diferentes órganos de las plantas para pesarlos en forma individual auxiliado con una balanza digital marca OHAUS modelo Scout Pro.

4.8.3. Contenido de nutrimentos

Se realizó la determinación de la concentración de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en tejido de raíz, tallo (con hojas) y flores; para este fin se molieron por separado las diferentes partes de las 15 plantas tomadas de cada tratamiento previamente secas. De la materia seca molida se pesaron en una balanza digital marca OHAUS modelo Scout Pro cinco muestras de 0.25 g y se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido perclórico (HClO_4) en proporción 2:1 v/v, a la cual se le agregaron 4 y 2 ml de peróxido de hidrógeno al 30 % como catalizador. Después de la digestión se filtró y aforó a 10 ml con agua desionizada.

Para la determinación de silicio de igual manera se pesaron cinco muestras de 0.15 g de materia seca de cada una de las partes de la planta antes mencionadas; estas se sometieron a una digestión húmeda con una mezcla de solución triácida compuesta por 10 ml de ácido nítrico (HNO_3), 1.5 ml de ácido perclórico (H_2SO_4) y 2 ml de ácido sulfúrico (HClO_4). Después de la digestión se filtró y aforó a 10 ml con agua destilada.

La determinación del N se realizó por el método de microkjeldahl. Las concentraciones de P, Ca, Mg, Fe, Cu y Zn se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica de plasma por inducción acoplada (ICP-AES) marca VARIAN modelo Liberty series II. El contenido de Si se determinó en un espectrofotómetro de absorción atómica marca VARIAN modelo spectrAA 220, de acuerdo con el procedimiento descrito por Alcántar y Sandoval (1999).

4.9. Análisis Estadísticos

El análisis estadístico se realizó mediante el uso del paquete estadístico SAS System Versión 9 (SAS Institute Inc., 2006).

Se realizó un análisis de varianza en un diseño experimental completamente al azar y en los casos en donde hubo diferencia estadística significativa se aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey con un $\alpha = 0.05$ para detectar el mejor tratamiento.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Fenología del Cultivo

Las plantas alcanzaron su altura máxima a los 90 días después del trasplante (ddt) y se registró un total de días a floración de entre 113 a 120 ddt para los tratamientos testigo, KSil 8, KSil 4 y KSil 2. Las plantas de los tratamientos silifertidol (SFD), silifertidol ultra (SFDU), fosfosilidol (FSD) y silifertidol plus (SFDP) de fertilización edáfica presentaron síntomas de toxicidad a partir de los 45 ddt reflejándose en la presencia de plantas arrojadas, clorosis y muerte ascendente de las plantas.

5.2. Efectos del Silicio en el pH y la CE del Suelo

El Cuadro 1 muestra que el pH y la CE del sustrato inicial son de 6.39 y 4.66 dS.m⁻¹ respectivamente, pero al finalizar el experimento se observaron cambios en ambos parámetros en los diversos tratamientos, como puede observarse en el Cuadro 5.

El cambio en el pH es posible que no tenga ningún efecto en cuanto a la toxicidad presentada en los tratamientos SFD, SFDU, FSD y SFDP; debido a que este se encuentra dentro del intervalo óptimo (6.5 – 7.5) para el desarrollo del cultivo, según lo reportado por Dole y Wilkins (2005). La aplicación de SiO₃ al sustrato cambio de 6.39 a 6.8 el pH de este, lo que concuerda con lo expuesto por Iler (1955; citado por Parra-Terraza *et. al.*, 2004) quien indica que la aplicación de este compuesto aumenta el pH al aumentar la actividad de los iones OH⁻ durante su hidrólisis y puede provocar la precipitación de silicatos metálicos polivalentes,

afectándose la disponibilidad de Ca, Mg y Fe. Sin embargo el mayor aumento del pH en los tratamientos KSil 2, 4 y 8 mM no es explicable por lo anteriormente expuesto, por lo que es probable que se deba al aumento en la absorción de cationes (NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}) de la solución del suelo, por parte de las plantas, provocando el aumento de iones OH^- por la aplicación de K_2SiO_3 foliar.

Cuadro 5. pH y CE final en el sustrato utilizado para el cultivo de lisianthus (*E. grandiflorum*) cv. Mariachi bajo fertilización silíceá edáfica y foliar.

Tratamiento	pH	CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)
SFD (Silifertidol 36.25-48.05 g de Si)	6.6	7.6
SFDU (Silifertidol Ultra 96.1- 106.22 g de Si)	6.5	7.1
FSD (Fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si)	6.8	7.2
SFDP (Silifertidol Plus 58.17-70.81 g de Si)	6.7	7.4
KSil 2 (KSil al 2 mM de Si)	7.2	1.3
KSil 4 (KSil al 4 mM de Si)	7.2	1.2
KSil 8 (KSil al 8 mM de Si)	7.1	1.4
Testigo	7.5	2.8

Aunque no es posible asegurar cual es el nivel más alto de CE que pueden llegar a soportar las plantas de lisianthus, ya que los niveles más altos reportados son de 1.99, 2.14 y 2.21 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ en las soluciones nutritivas utilizadas por Backes *et al.* (2008), sin que se presentaran síntomas de toxicidad, por lo que es probable que soporte condiciones iniciales por arriba de los 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con base en los resultados

de las pruebas químicas iniciales, puesto que las plantas de los tratamientos foliares Ksil 2, Ksil 4, Ksil 8 y el testigo crecieron y se desarrollaron de forma normal aun con un nivel inicial de $4.66 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadro 1).

El incremento en la CE de los tratamientos antes mencionados pudo provocar la toxicidad presentada en las plantas por el aumento de sales disueltas en el sustrato como resultado de la adición de los nutrimentos presentes en los fertilizantes. Por otro lado la disminución de la conductividad eléctrica en el sustrato de los tratamientos foliares y testigo es explicable si se toma en cuenta que las plantas de estos tratamientos se desarrollaron normalmente y que la fertilización complementaria fue mínima, por lo que la absorción de sales del sustrato fue mayor lo cual disminuye este parámetro.

5.3. Variables de Crecimiento

5.3.1. Diámetro y longitud de tallo

En el análisis estadístico de las variables agronómicas se observó que aun cuando las plantas del testigo presentan las medias más altas en las variables evaluadas: diámetro de tallo (DT) y longitud de tallo (LT) no mostraron diferencias estadísticas con respecto a los valores obtenidos en los tratamientos KSil 2, KSil 4 y KSil 8 de fertilización foliar. Mientras que el tratamiento SFDP fue el mejor de los tratamientos de fertilización edáfica (Cuadro 6).

Con respecto a la longitud de tallo, aun cuando no existen normas de calidad para la comercialización de lisianthus como flor cortada, se puede decir que los tallos obtenidos como resultado de la aplicación de los tratamientos KSil 2, KSil 4, KSil 8

y el testigo son de buena calidad ya que se encuentran dentro de los intervalos reportados por diversos autores. Camargo *et al.* (2004) observaron longitud de 90.5 cm con el cultivar Echo Blue; Backes *et al.* (2007) obtuvieron tallos de 57.19, 42.22, 51.19 y 52.22 cm de longitud en las variedades Echo Champagne, Mariachi Puer White, Balboa Yellow y Ávila Blue Rim, respectivamente, y Kofranek y Halevy (1984 citados por Backes *et al.*, 2007) obtuvieron la altura media del tallo de las plantas de lisianthus en los colores azul y blanco de 34 y 59 cm, respectivamente.

Por otro lado para el parámetro DT no se encontraron reportes en los que se tome a este como una variable respuesta, por lo que se puede suponer que los resultados obtenidos con los tratamientos KSil 2, KSil 4, KSil 8 y el testigo fueron adecuados.

5.3.2. Número de hojas y área foliar

El análisis estadístico del número de hojas arrojó un promedio de 57, 56, 53 y 50 hojas por planta para el testigo y los tratamientos KSil 8, KSil 4 y KSil 2, respectivamente; lo cual no reveló diferencias estadísticas entre los tratamientos de fertilización foliar y el testigo (Cuadro 7).

Camargo *et al.* (2004) mencionan que junto con la longitud de los tallos y el número de flores, el número de hojas en los tallos de lisianthus es importante, tanto por el aspecto visual como por la contribución al peso seco de los tallos. Ellos reportan que a los 120 días, el número promedio de hojas por tallo fue de 76 en plantas del cultivar Echo Blue. Backes *et al.* (2007) encontraron un promedio de 117.66, 88.43, 103.42 y 105.82 hojas por planta (cultivados a doble tallo) en los

cultivares Echo Champagne, Mariachi Puer White, Balboa Yellow y Ávila Blue Rim, respectivamente. La diferencia entre el número de hojas encontradas en la presente investigación y las reportadas por los investigadores antes señalados puede deberse a que en este trabajo no se contaron las hojas más pequeñas (menores a 1 cm), pero en general los resultados pueden considerarse óptimos.

Cuadro 6. Diámetro y longitud de tallos de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

Tratamiento	Variable	
	DT (mm)	LT (cm)
Testigo	4.7 a ^z	59.3 a
KSil 8	4.2 a	52.8 a
KSil 4	4.2 a	52.2 a
KSil 2	4.2 a	49.4 a
SFDP	3.3 b	20.5 b
SFDU	2.7 bc	12.5 bc
FSD	2.5 c	5.6 c
SFD	2.4 c	4.0 c
DMS	0.76	10.85
C.V.	19.07	30.02

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **DT**: diámetro de tallo; **LT**: longitud de tallo; **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si; **DMS**: Diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.

El área foliar (AF) para los tratamientos testigo, KSil 8, KSil 4, KSil 2 fueron 548.5, 471,457.4 y 434.1 cm², respectivamente; sin que la diferencia numérica significara una diferencia estadística (Cuadro 7). No se encontraron reportes con respecto al área foliar de las plantas de lisianthus, por lo que sabiendo que el área foliar tiene una relación directa con el número de hojas y el tamaño de estas caemos en el supuesto de que los datos obtenidos son congruentes con los parámetros de crecimiento de las plantas antes analizadas. Con respecto a este parámetro y la respuesta a la aplicación de silicio, aunque no se encontraron resultados en el cultivo de lisianthus con los cuales comparar los resultados obtenidos, estos concuerdan con lo reportado por Arce (2012) quien encontró una relación inversamente proporcional entre la concentración de silicio aplicado al follaje y el área foliar de las plantas de fresa tratadas con KSil, esto a su vez concuerda con lo reportado por De Dios-Delgado *et al.* (2006) quienes sugieren que el aumento en la concentración de Ca y Si en las hojas disminuyen el área foliar en las plantas de lechuga.

5.3.3. Número de flores

El número de flores obtenidas en los tratamientos KSil 2, KSil 4, KSil 8 y el testigo fueron de 7.2, 7.1, 10.5 y 10.8, respectivamente (Cuadro 7); lo cual no representa diferencia estadística, pero son semejantes con respecto a los resultados reportados por Backes *et al.* (2007), quienes obtuvieron promedios de 30.13, 26.5, 25.8 y 22. 5 flores por planta en los cultivares Echo Champagne, Mariachi Pure White, Balboa Yellow y Avila Blue Rim, respectivamente, y Kofranek y Halevy (1984; citados por Backes *et al.*, 2007), quienes en la evaluación de dos cultivares,

uno azul y otro blanco de lisianthus, reportaron una producción promedio de 18.56 y 36.36 flores por planta, respectivamente; todos estos resultados fueron obtenidos en plantas conducidas a dos tallos, cultivadas bajo invernadero e hidroponia. Cabe señalar que en esta investigación los botones menores a 0.5 cm no se registraron, por lo que se podría justificar la diferencia entre los resultados obtenidos y los reportados en investigaciones previas.

Finalmente es probable que la variación en el tamaño de los tallos (longitud y diámetro), número de hojas, área foliar y el número de flores producidas se deba a la diferencia de los cultivares, a las condiciones ambientales y de fertilización que afectaron el crecimiento y desarrollo de estas plantas y no a la acción del Si, debido a que no se encontraron diferencias estadísticas entre las plantas del testigo y las plantas tratadas con KSil y puesto que todas las variables agronómicas reportadas en este trabajo se encuentran dentro de las medias reportadas por los diversos autores anteriormente citados quienes no utilizaron silicio en sus investigaciones.

5.4. Variables Fisiológicas

5.4.1. Contenido de clorofila

Con respecto al contenido de clorofila a, b y total los tratamientos foliares KSil 8, KSil 4 y el testigo fueron estadísticamente iguales. Destacando el tratamiento KSil 8, el cual presentó medias de $0.77 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de clorofila a, $0.41 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de clorofila b y $1.18 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de clorofila total, lo que representa el 5.74 % mas clorofila total con

respecto al testigo (Figura 1) lo cual sugiere un efecto positivo por el tratamiento KSil 8 (Silicio a 8 mM) .

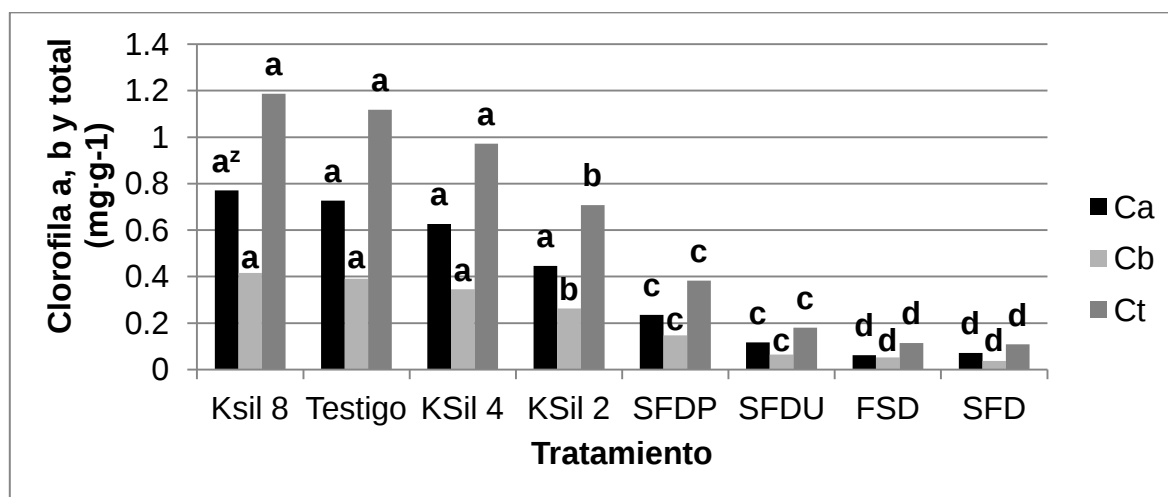
Cuadro 7. Número de hojas, área foliar y número de flores evaluadas en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceas dáfica y foliar.

Tratamiento	Variable		
	NH	AF (cm ²)	NF
Testigo	56.87 a ^z	548.5 a	10.8 a
KSil 8	56.47 a	471.0 a	10.5 a
KSil 4	53.33 a	457.4 a	7.2 a
KSil 2	50.07 a	434.1 a	7.1 a
SFDP	35.33 b	205.7 b	2.6 bc
SFDU	24.13 bc	116.7 bc	0.8 c
FSD	17.87 c	64.8 bc	0.2 c
SFD	12.67 c	32.6 c	0 c
DMS	14.67	144.52	4.61
C.V.	33.92	83.58	43.97

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **NH**: número de hojas; **AF**: área foliar; **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si; **DMS**: Diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.

Estadísticamente los resultados obtenidos no concuerdan con los reportes de Wang y Galletta (1998) quienes indican que en plantas de fresa tratadas con

aplicaciones foliares de silicio se incrementa el contenido de clorofila y corroboran los resultados de obtenidos por Arce (2012) quien no encontró cambios en la concentración de clorofila en plantas de fresa tratadas con KSil.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). ; **Ca**: clorofila a; **Cb**: Clorofila b; **Ct**: clorofila total; **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1-106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 1. Contenido de clorofila a, b y total en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceá edáfica y foliar.

5.4.2. Acumulación de biomasa

En la acumulación de biomasa los tratamientos foliares con KSil (KSil 2, KSil 4 y KSil 8) y el testigo no presentaron diferencia estadística con respecto a las variables PSR, PSTH, PSF y PST (Cuadro 8).

Peso seco de raíz (PSR). Las medias obtenidas en los diferentes tratamientos foliares fluctuó entre 0.208 y 0.255 g·planta⁻¹ (Cuadro 8).

Peso seco de tallos y hojas (PSTH). las plantas que crecieron bajo los tratamientos KSil 2, KSil 4, KSil 8 y testigo de este trabajo se desarrollaron de forma óptima, ya que el peso promedio de estos de 3.05, 3.24, 3.61 y 4.49 g·planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 8).

Cuadro 8. Biomasa acumulada en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

Tratamiento	PSR	PSTH	PSF	PSTo
	(g·planta ⁻¹)			
SFD	0.023 c^z	0.15 c	0 b	0.2 b
SFDU	0.046 bc	0.59 c	0 b	0.6 b
FSD	0.035 bc	0.34 c	0 b	0.4 b
SFDP	0.103 b	0.97 c	0 b	1.1 b
KSil 2	0.208 a	3.05 a	0.71 a	4.7 a
KSil 4	0.245 a	3.61 a	0.79 a	4.0 a
Ksil 8	0.255 a	3.24 a	1.22 a	4.7 a
Testigo	0.240 a	4.49 a	0.99 a	5.7 a
DMS	0.0735	1.1386	1.0545	1.8806
C.V.	45.12	48.71	44.13	47.33

^z medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05).). **PSR**: peso seco de raíz; **PSTH**: peso seco de tallos y hoja; **PSF**: peso seco de flores; **PST**: peso seco total. **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si. **DMS**: Diferencia mínima significativa; **C. V.**: coeficiente de variación.

Peso seco de flores (PSF). Las medias de PSF de los tratamientos testigo y KSil 2, KSil 4, KSil 8 variaron de 0.71 a 1.2 g·planta⁻¹ (Cuadro 8) pero sin que esto suponga una diferencia estadística entre los tratamientos.

Peso seco total (PSTo). El peso seco total de las plantas tratadas con KSil varió de los 4 a 4.7 gramos, la media más alta se alcanzó en las plantas testigo con 5.7 g·planta⁻¹ (Cuadro 8).

La aplicación foliar de silicio no mejoró la acumulación de biomasa en las plantas de *lisianthus*, ya que la media más alta de las que fueron tratadas con KSil no superaron el peso seco total de las plantas testigo y dado a que los resultados obtenidos coincide con los obtenidos por Velázquez (2008), quien reporta un peso seco promedio de 0.212, 4.09 y 0.212 g·planta⁻¹ en raíces, parte aérea y flores respectivamente en plantas de *lisianthus* cv. Mariachi cultivadas en condiciones climáticas y edáficas similares a las utilizadas en esta investigación, pero sin la fertilización silíceas; además, los resultados encontrados corroboran lo reportado por Arce (2012) quien reporta aumentos en la acumulación de biomasa con la aplicación de Si en la solución nutritiva pero no en las aplicaciones foliares en fresa.

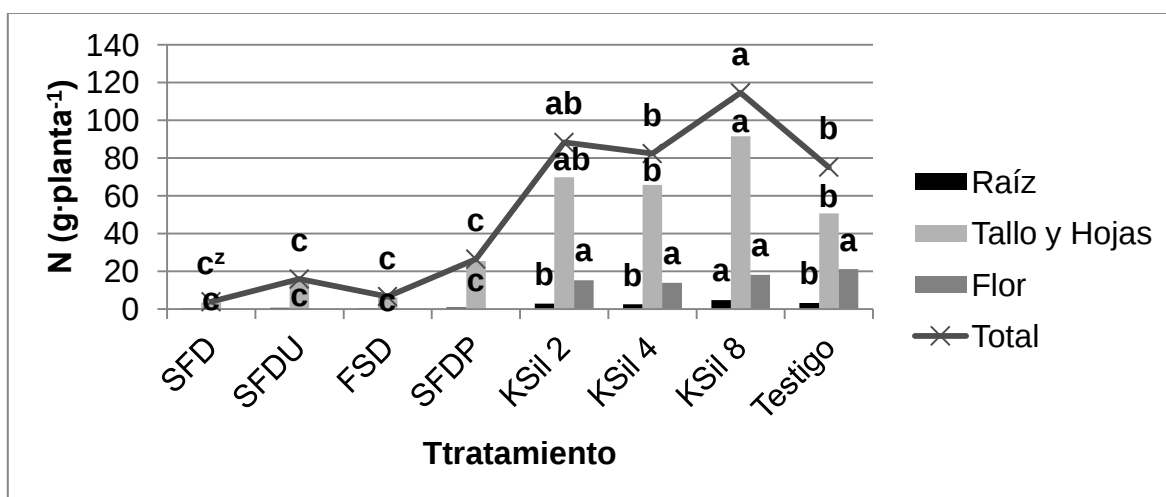
5.5. Contenido de Nutrientes

5.5.1. Nitrógeno

En la Figura 2 se puede observar que las plantas tratadas con los fertilizantes edáficos silifertidol, silifertidol ultra, fosfosilido y silifertidol plus presentaron los niveles más bajos de nitrógeno, sin que hubiera diferencia estadística entre

tratamientos tanto en los órganos individuales como en contenido total debido a la fitotoxicidad presentada en ellas.

En las plantas con fertilización foliar, el mejor tratamiento fue KSil 8, presentando un aumento de $1.54 \text{ mg} \cdot \text{planta}^{-1}$; es decir, 47.23 % más N. Los tratamientos KSil 8 y 2 mejoraron notablemente el contenido de nitrógeno, siendo así los mejores tratamientos con un aumento de 40.81 y 19.22 $\text{mg} \cdot \text{planta}^{-1}$ (47.23 % y 80.4 %) más del nutrimento en cuestión, respectivamente, en los tallos y hojas. Mientras que en cuanto al contenido de este nutrimento en las flores no se encontró diferencia estadística entre los diversos tratamientos (Figura 2).



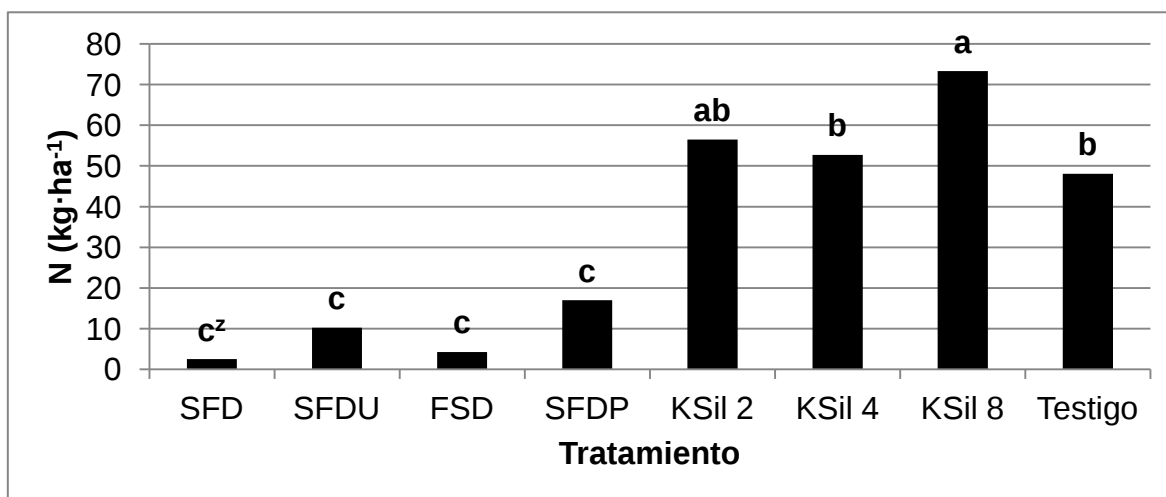
² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 2. Contenido de nitrógeno en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

Finalmente los mejores tratamientos en cuanto la absorción y extracción total de nitrógeno fueron: KSil 8 y KSil 2 los cuales presentaron medias de 114.56 y 88.27

mg·planta⁻¹, es decir 73.32 y 56.49 Kg·ha⁻¹ de este nutriente extraído del sustrato por las plantas de cada tratamiento, considerando un densidad de 640,000 plantas·ha⁻¹ (Figura 3).

El aumento en el contenido y la extracción de nitrógeno en las plantas tratadas con KSil al 2 y 8 mM de Silicio podría indicar una relación positiva entre ambos elementos, lo cual, concuerda con lo reportado en los estudios de Gascho (1977), Elawad y Green (1979) y Epstein (1994), quienes sugirieron que el silicio es capaz de balancear el nitrógeno dentro de las plantas debido al sinergismo silicio-nitrógeno.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

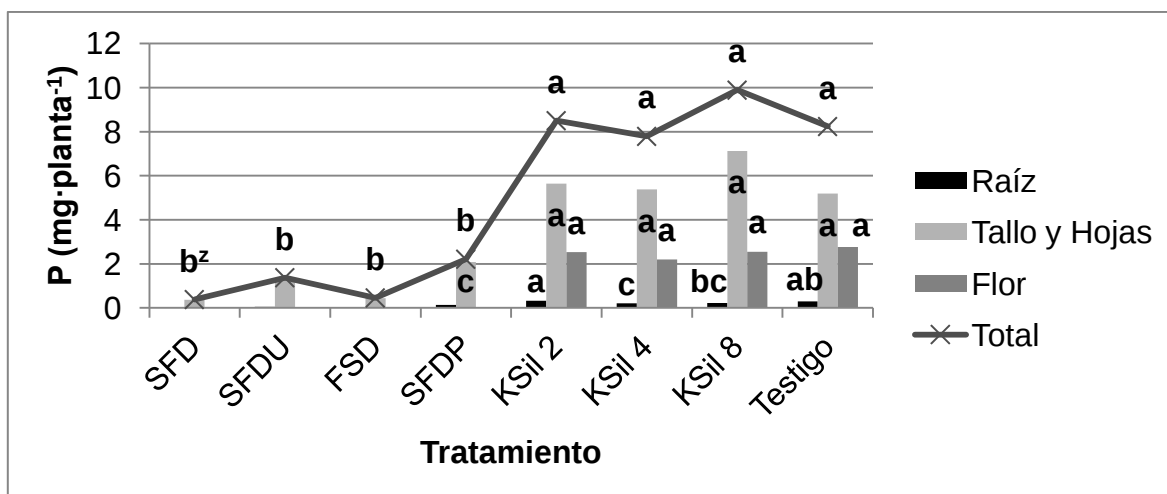
Figura 3. Extracción de nitrógeno en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

5.5.2. Fósforo

Las plantas tratadas con KSil 2 y testigo resultaron los mejores tratamientos al presentar las medias más altas de fósforo en las raíces con 0.32 y 0.295 mg·planta⁻¹, respectivamente. En los tallos y hojas no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos foliares (KSil 2, KSil 4 y KSil 8) y el testigo, el nivel más alto se encontró en las plantas con el tratamiento KSil 8 (7.121 mg·planta⁻¹), mientras que las plantas testigo presentaron la media más alta en las flores con 2.76 mg·planta⁻¹, sin tener diferencia estadística sobre los tratamientos foliares (Figura 4).

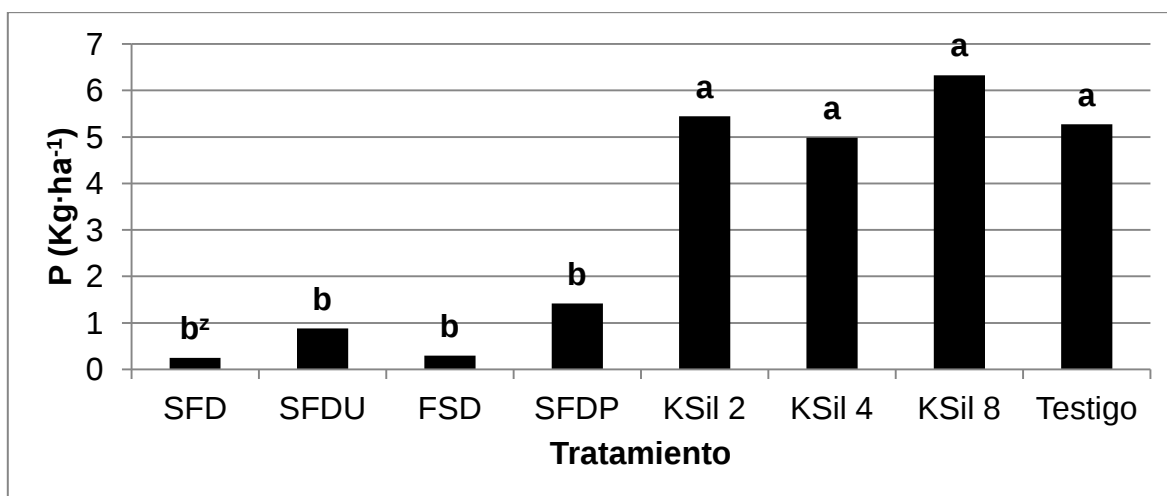
En cuanto al contenido y extracción total no se encontró diferencia estadística entre las plantas testigo y las plantas tratadas con KSil, pero es notable el aumento de este elemento en las plantas con KSil 8 al obtener 9.89 mg·planta⁻¹ y 6.328 Kg·ha⁻¹ en dichos parámetros respectivamente; es decir 20 % más fósforo absorbido (Figuras 4 y 5).

Las plantas tratadas con KSil 2 presentaron un aumento en el contenido de P en las raíces, al contrario del tratamiento KSil 8 que tiende a mejorar el contenido de este elemento en los tallos y hojas disminuyendo su contenido en las raíces, por lo que es probable que la aplicación de silicio mejore la absorción y movilización del fósforo tal como sugieren Elawad y Green (1979); Gascho (1977) y Epstein (1994) quienes indican que la aplicación de silicio mejora la utilización del fósforo.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 4. Contenido de fósforo en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceica edáfica y foliar.

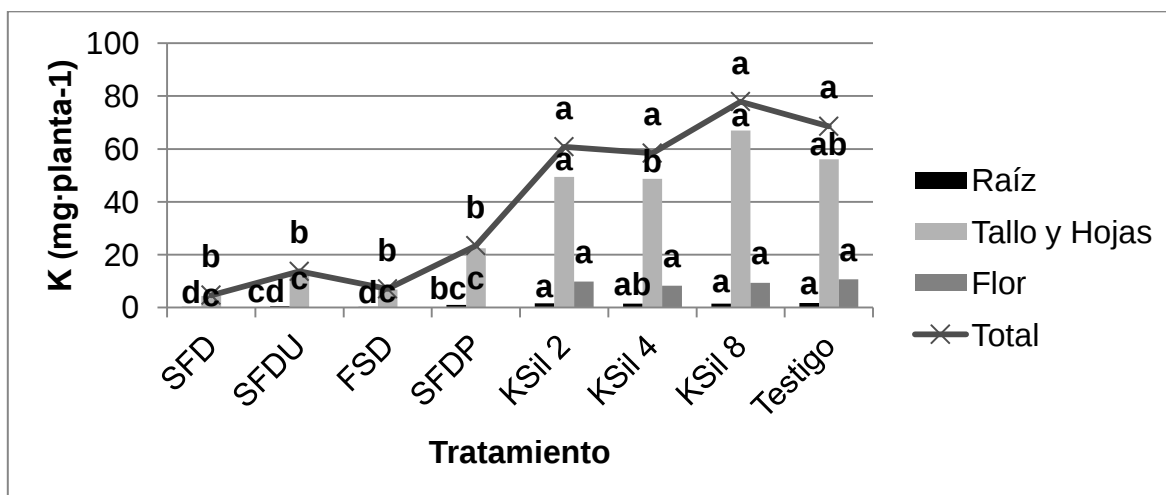


^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 5. Extracción total de fósforo en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceica edáfica y foliar

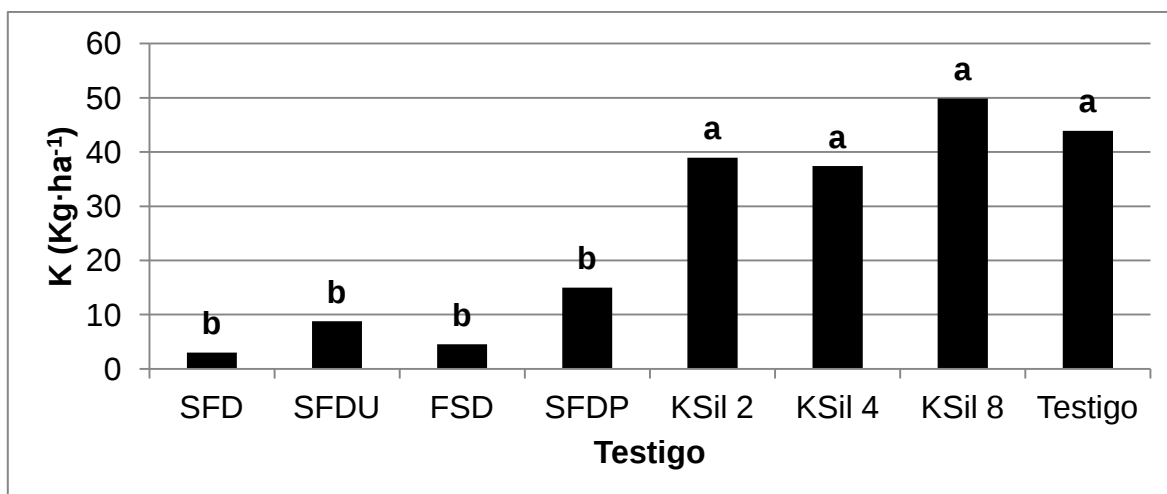
5.5.3. Potasio

En el contenido y extracción de potasio no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos foliares (KSil 2, 4 y 8) y el testigo, presentándose la media más alta en las raíces y flores de las plantas testigo con 1.72 y 10.7 mg·planta⁻¹ respectivamente; mientras que para el contenido en tallos y hojas, total y la extracción total de dicho nutrimento las medias más altas se presentaron en las plantas tratadas con silicio al 8 mM (KSil 8) con 66.99, 77.93 mg·planta⁻¹ y 49.88 Kg·ha⁻¹, respectivamente (Figuras 6 y 7).



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 6. Contenido de potasio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

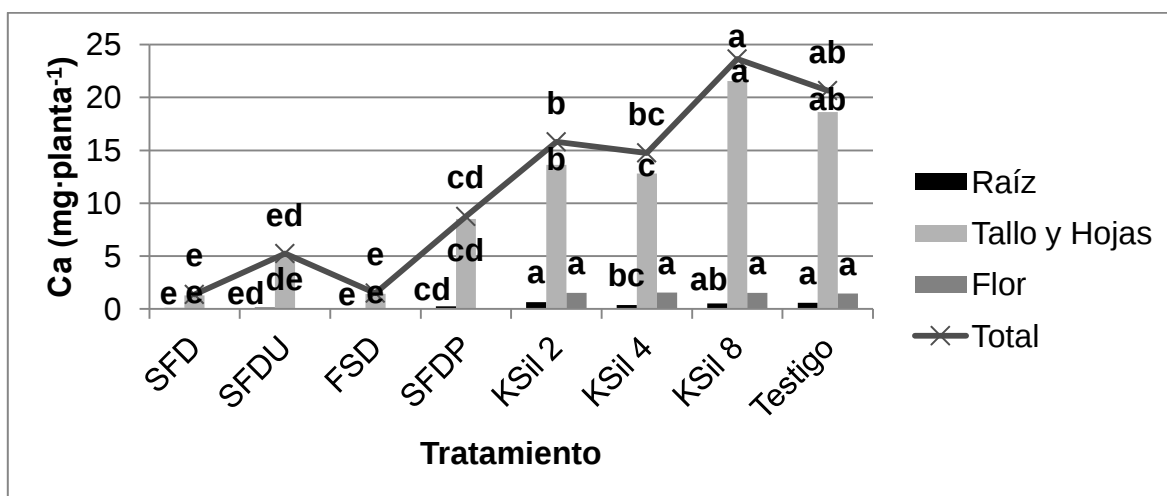
Figura 7. Extracción total de potasio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceá edáfica y foliar.

Observando los resultados obtenidos en la extracción de nitrógeno y potasio la relación N:K es de 1.4:1 en las plantas tratadas con silicio vía foliar, lo que contradice a lo reportado por Dole y Wilkins (2005) y Velázquez (2008) quienes indican que la relación N:K es de 1:1.5 para plantas de lisianthus cultivados en maceta y el orden de extracción es $K > N$. Los resultados a su vez concuerdan con lo aseverado por Epstein (1999) quien indica que el silicio permite aumentar la absorción del potasio.

5.5.4. Calcio

Las raíces de las plantas tratadas con KSil 2 fueron las más altas en contenido de calcio con una media de $0.646 \text{ mg} \cdot \text{planta}^{-1}$ pero sin que se presentara diferencia estadística con respecto al testigo y KSil 8. Las plantas del tratamiento KSil 8

presentaron las medias más altas con 21.57 y 23.64 mg·planta⁻¹ de este elemento en tallos y hojas, en contenido y absorción total respectivamente. En cuanto al contenido del elemento analizado en las flores la media más alta se presentó en las plantas tratadas con KSil 8 (1.56 mg·planta⁻¹) superando al testigo por 0.1 mg·planta⁻¹, es decir, 6.5 % más Ca por planta (Figura 8). Finalmente, en la extracción total de calcio, las plantas del tratamiento KSil 8 fueron las mejores al obtener medias de 15.127 Kg·ha⁻¹ (Figura 9).

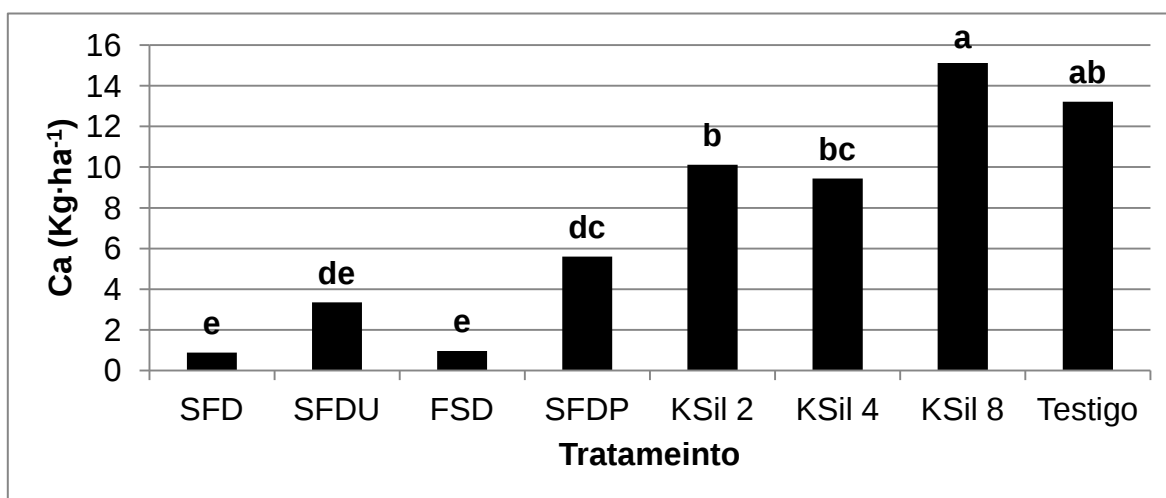


² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 8. Contenido de calcio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

En base a todas las observaciones anteriores, los niveles encontrados en la absorción de calcio en los diferentes órganos y la extracción total de este elemento, las plantas tratadas con KSil 8, presentan una tendencia positiva en la absorción y por consiguiente en la extracción, lo cual sugiere que la aplicación silicio a concentración de 8 mM mejora la absorción de Ca, contrario a lo reportado

por Ma y Takahashi (1990; citados por Trejo-Téllez *et al.* 2009) quienes indican que la absorción de calcio en arroz es reducida con la aplicación de silicio al suelo, mientras que Arce (2012) indica que la aplicación de silicato de potasio al follaje de plantas de fresa no tiene ningún efecto en la absorción de calcio de estas, De Dios-Delgado *et al.* (2006) también indican que la aplicación de metasilicato de sodio disminuye la absorción de Ca en plantas de lechuga.



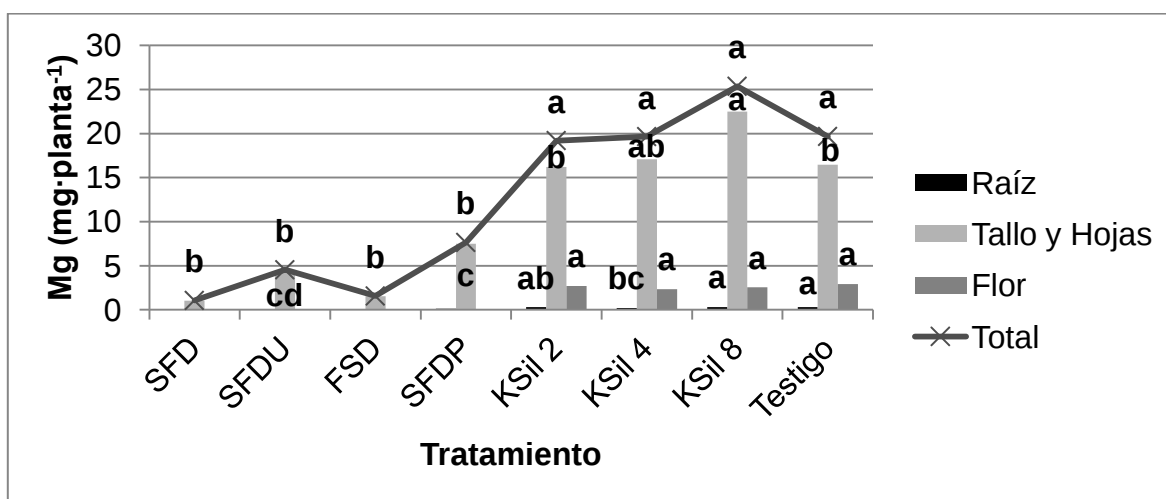
² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si;

Figura 9. Extracción total de calcio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

5.5.5. Magnesio

El contenido más alto de magnesio en las rices se presentó en las plantas tratadas con Si al 8 mM (KSil 8) con una media de $0.307 \text{ mg} \cdot \text{planta}^{-1}$ sin una diferencia estadística con respecto al testigo y el tratamiento KSil 2. En los tallos y hojas, los mejores tratamiento fueron KSil 4 y 8; además se observó un comportamiento de

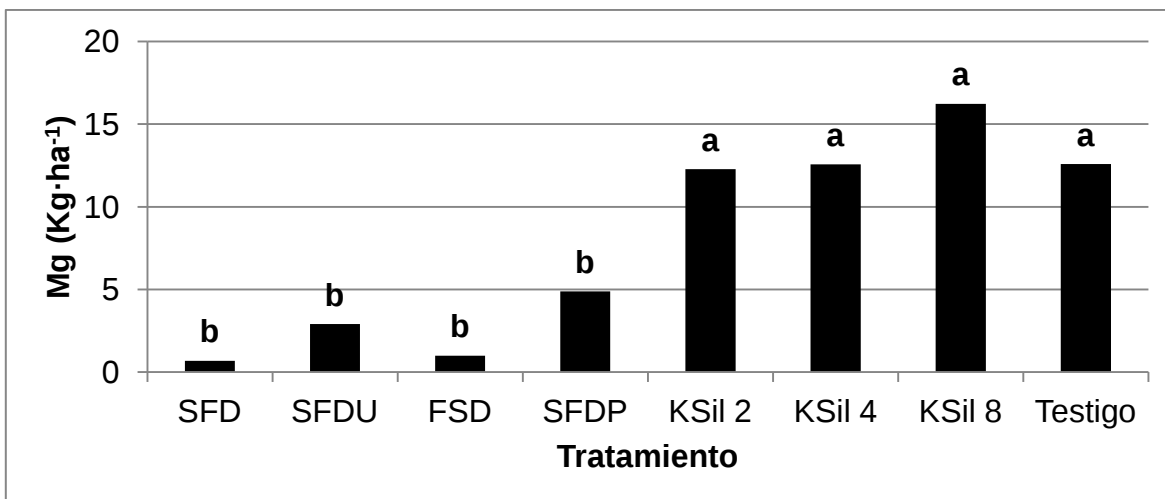
forma creciente en el contenido de este con respecto al aumento en la dosis de Si, alcanzado su mayor concentración en las plantas tratadas con KSil 8 con una media de 22.498 mg·planta⁻¹ (13.95 % más Mg que el testigo). En las flores no se presentó diferencia estadística entre las plantas tratadas con silicato de potasio y el testigo (Figura 10).



² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 10. Contenido de magnesio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

En la extracción total de Mg no se presentó diferencia estadística significativa entre las plantas tratadas con KSil y las plantas testigo; sin embargo, se mantuvo la tendencia al aumento entre la cantidad de magnesio con respecto a la dosis aplicada de silicio. La extracción más alta fue de 16.225 mg·planta⁻¹ en el tratamiento KSil 8 superando al testigo con 9.8 % de este nutrimento (Figura 11).



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

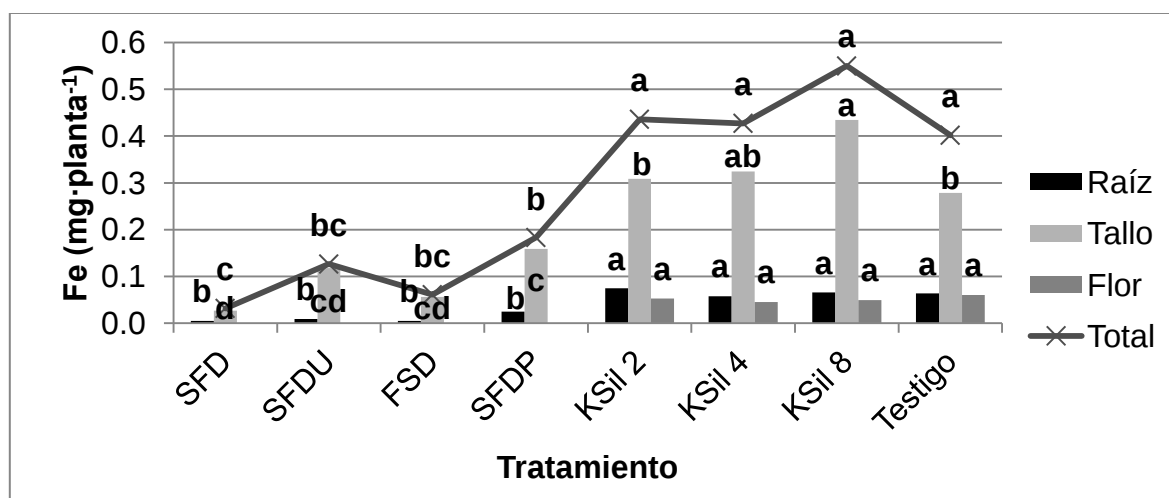
Figura 11. Extracción total de magnesio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

El comportamiento de la acumulación y extracción total de magnesio en las plantas tratadas con silicio hacen suponer que la aplicación de este en forma de silicato de potasio mejora la absorción y distribución del Mg; esto corrobora lo descrito por Wang *et al* (2000; citados por Arce, 2012) quienes reportan un aumento en la absorción de este nutrimento en plantas de arroz.

5.5.6. Hierro

En raíces y flores no se presentó diferencia estadística en el contenido de hierro entre las plantas tratadas con KSil y las plantas testigo, mientras que en los tallos y hojas los mejores tratamientos fueron KSil 4 y 8 con medias de 0.434 y 0.328 mg·planta⁻¹ (Figura 12).

La absorción total no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos foliares y el testigo; sin embargo, se observó un efecto positivo en las plantas con silicato de potasio, con un aumento de hasta 36.8 % más hierro, alcanzado por las plantas tratadas con Si al 8 mM (Figura 13).



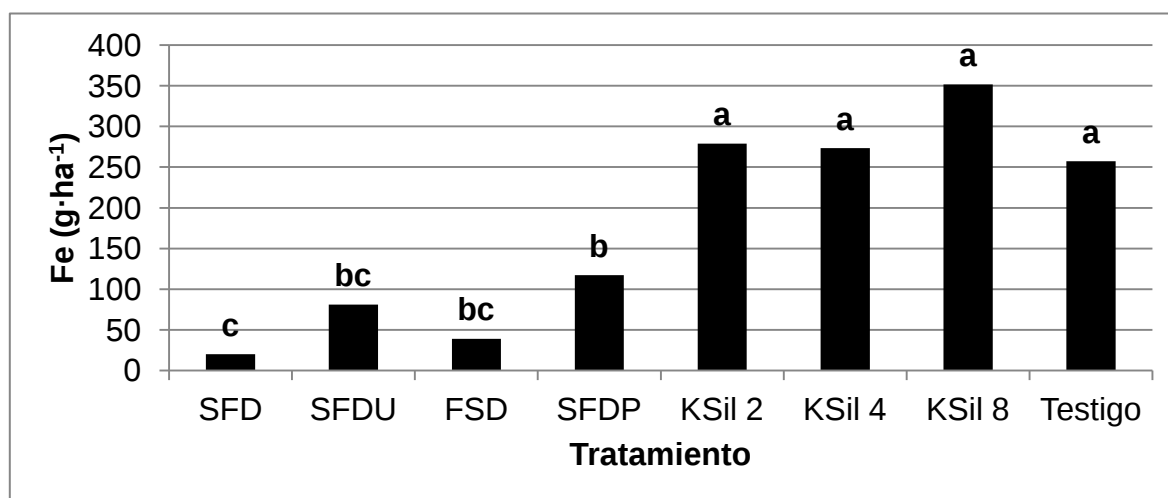
^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 12. Contenido de hierro en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

Como puede observarse en la Figura 13, las medias de extracción de hierro más altas con 351.8 y 278.9 g·ha⁻¹ fueron alcanzadas por las plantas tratadas con silicato de potasio al 8 y 2 mM de silicio, superando a las plantas testigo con un 36.8 y 6.3 % más, respectivamente, sin que esto represente una diferencia estadística.

Observando el contenido de hierro en los diferentes órganos de las plantas es posible que la aplicación del silicio en forma foliar sea capaz de mejorar la

absorción de éste y favorezca la movilidad de dicho elemento, al encontrarse menor contenido en las raíces y mayor contenido en tallos, hojas y flores con respecto al testigo esto corrobora lo expuesto por Epstein (1994); Gascho (1977); Elawad y Green (1979), quienes indican que la interacción Si-Fe mejora la tolerancia de las plantas a la toxicidad de éste al asegurar su dilución o distribución más uniforme.



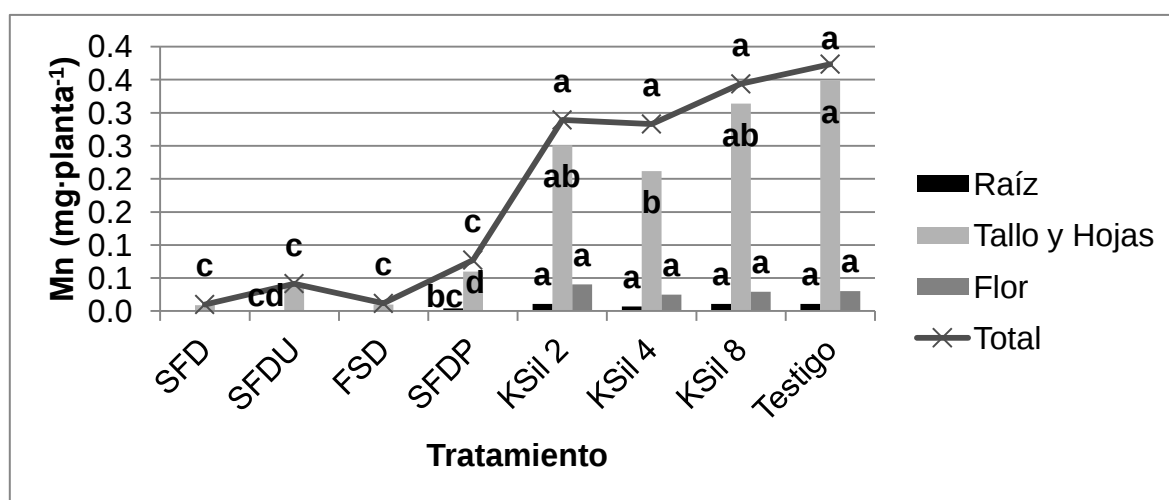
² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 13. Extracción total de hierro en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silícea edáfica y foliar.

5.5.7. Manganeso

En las raíces y flores no se encontraron diferencias estadísticas entre los contenidos de manganeso de las plantas tratadas con silicato de potasio y las plantas testigo. En tallos y hojas las medias más altas en el contenido de éste elemento se presentaron en las plantas testigo y los tratamientos KSil 2 y 8. En cuanto a la absorción total de manganeso no se presentaron diferencias

estadísticas entre los tratamientos KSil 2, 4, 8 y el testigo, éste último presentó la media más alta con $0.374 \text{ mg}\cdot\text{planta}^{-1}$ (Figura 14). La extracción de Mn fue estadísticamente igual en los tratamientos foliares y el testigo, las plantas que extrajeron más de este elemento fueron las del testigo con una media de $239.1 \text{ mg}\cdot\text{planta}^{-1}$ (Figura 15).

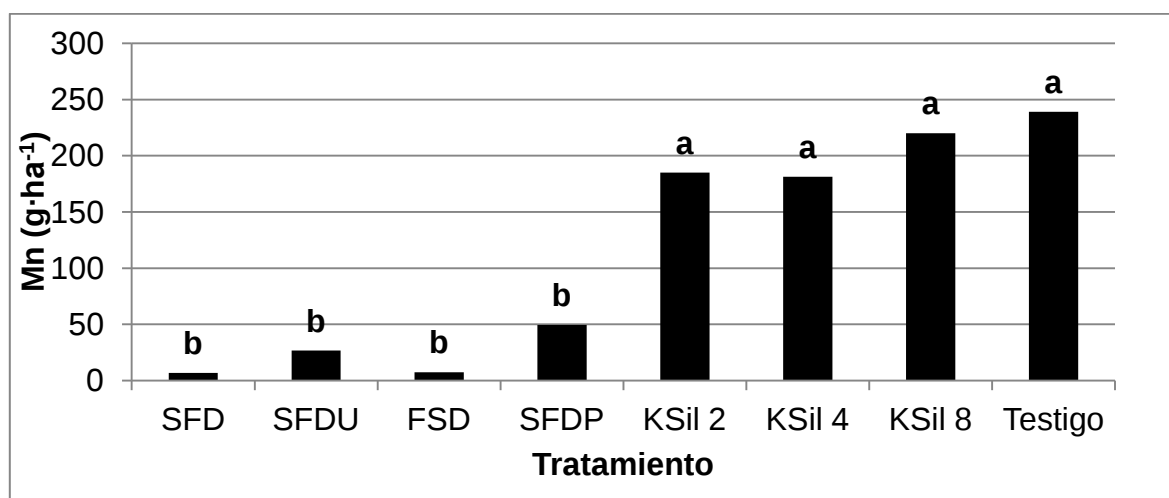


^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 14. Contenido de manganeso en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceá edáfica y foliar.

En las Figuras 14 y 15 se puede observar como la aplicación del silicato de potasio disminuyó el contenido de manganeso aun cuando gradualmente aumentó el contenido de este con respecto al aumento de la dosis pero sin alcanzar el contenido de las plantas testigo, lo que concuerda con lo reportado por Epstein (1994); Gascho (1977); Elawad y Green (1979), quienes indican que el ácido silícico dentro de la planta reduce los niveles internos del manganeso; sin

embargo. es probable que el aumento en la dosis de Si aplicado via foliar a estas plantas mejoren la absorción de Mn.



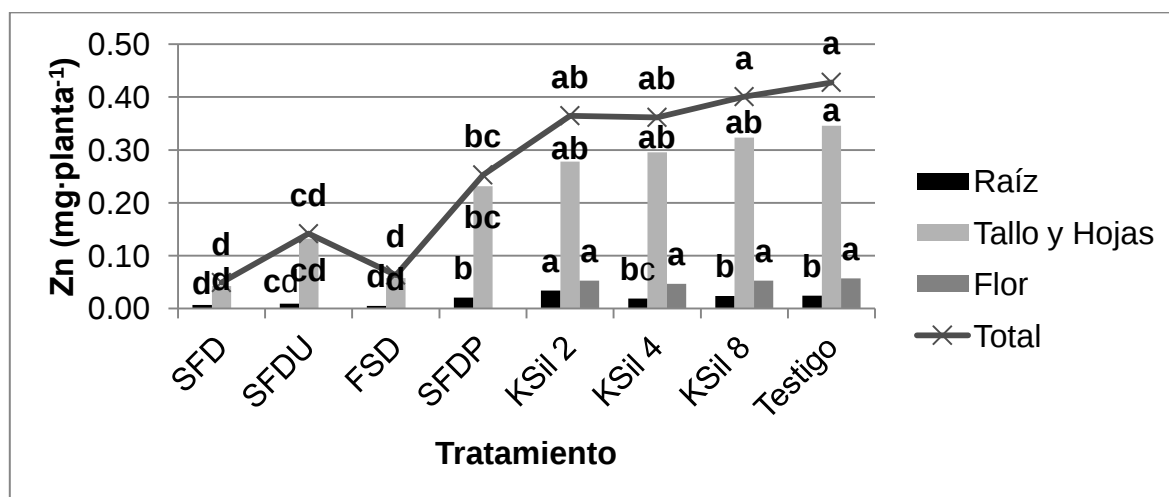
² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 15. Extracción total de manganeso en raíces de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivados bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

5.5.8. Zinc

Las plantas tratadas con KSil 2 presentaron los niveles más altos de absorción de Zinc en las raíces, siendo así el mejor tratamiento con una media de 0.034 mg·planta⁻¹. En los tallos y flores las plantas tratadas con silicio al follaje y las plantas testigo no presentaron diferencias estadísticas significativas, se obtuvieron las medias más altas en las plantas testigo con 0.346 y 0.057 mg·planta⁻¹, respectivamente para cada órgano (Figura 16).

Aunque se observó una tendencia creciente en el contenido total de Zinc con respecto a la dosis de Si, este fue más alto en las plantas testigo sin que esto significara una diferencia estadística con los tratamientos KSil 2, 4 y 8 (Figura 16).



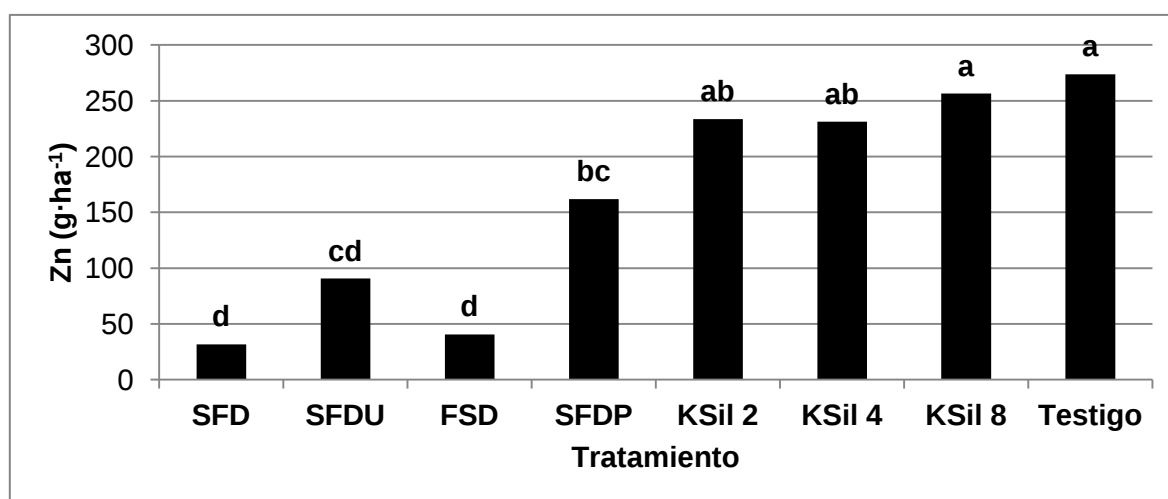
² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 16. Contenido de zinc en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

Las plantas testigo fueron las que más zinc extrajeron al presentar una media de extracción de $273.74 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$, siendo esta la más alta pero sin presentar diferencia estadística significativa con los tratamientos de silicio foliar (KSil 2, 4 y 8) (Figura 17).

Las Figuras 16 y 17 muestran el comportamiento del contenido y extracción de zinc en las plantas de lisianthus tratadas con silicato de potasio, se observó una tendencia hacia el aumento en el contenido total de este con respecto al aumento de la dosis de silicio, por lo que cabe la posibilidad de que la aplicación de dosis

mayores de Si vía foliar en estas plantas mejoren la absorción del nutrimento, aunque no se encontraron referencias directas sobre el comportamiento del elemento analizado en las plantas estudiadas, Parra *et al.* (2009) reportaron que en plantas de pepino la aplicación de silicio en la solución nutritiva aumentó la concentración de Zn en las hojas de dicha planta.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

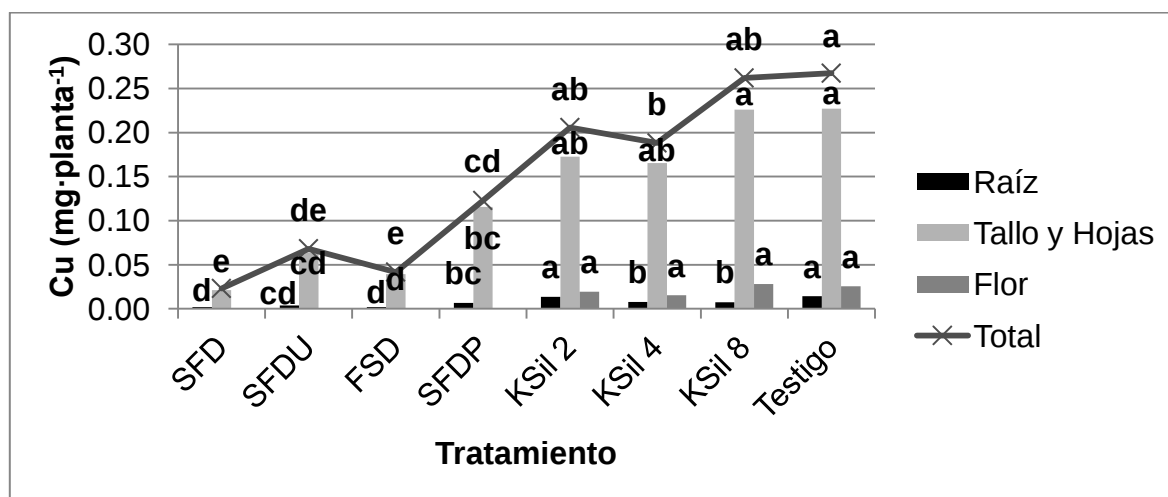
Figura 17. Extracción total de zinc en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

5.5.9. Cobre

Para el caso de la concentración del cobre los mejores tratamientos fueron KSil 2 y el testigo, los cuales presentaron medias de 0.0135 y 0.0142 mg·planta⁻¹, respectivamente. En los tallos y hojas los contenidos más altos se presentaron en las plantas tratadas con KSil al 8 mM de silicio y el testigo, siendo los mejores tratamientos con 0.226 y 0.227 mg·planta⁻¹. En las flores no se presentó diferencia

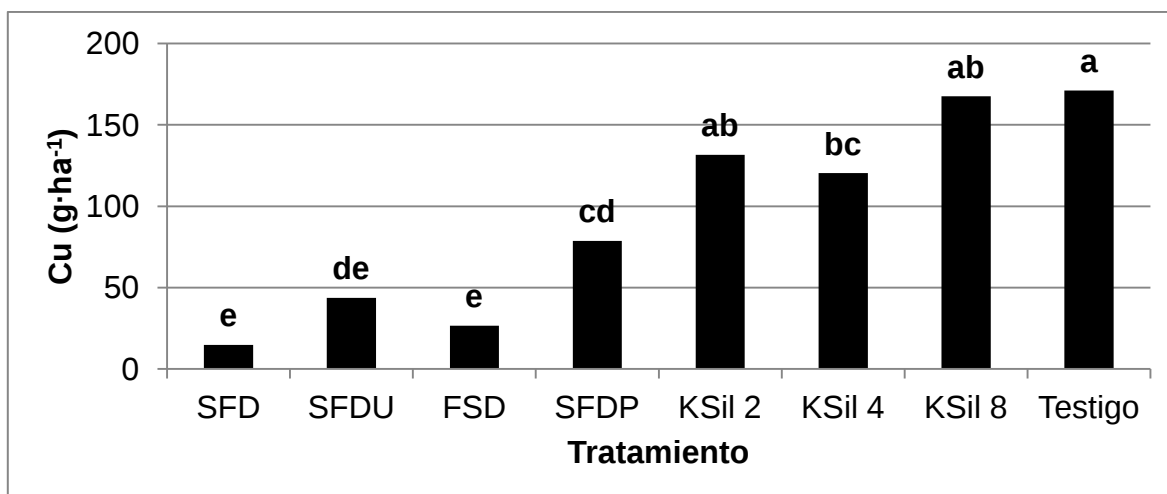
estadística entre la medias de absorción de las plantas de los tratamientos foliares (KSil 2, 4 y 8) y las plantas testigo. En el contenido las plantas testigo y las tratadas con KSil 8 presentaron las medias más altas siendo así los mejores tratamientos (Figura 18). Finalmente, en la extracción total de Cu, las plantas testigo obtuvieron una media de 171.09 g·ha⁻¹ (Figura 19).

Como puede observarse en las gráficas el contenido y extracción del manganeso disminuyó notablemente con la aplicación del silicato de potasio principalmente con las dosis más pequeñas de silicio (2 y 4 mM) y aunque con la dosis mayor (8 mM de Si) se logró normalizar el contenido y por ende la extracción de dicho elemento.



² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 18. Contenido de cobre en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

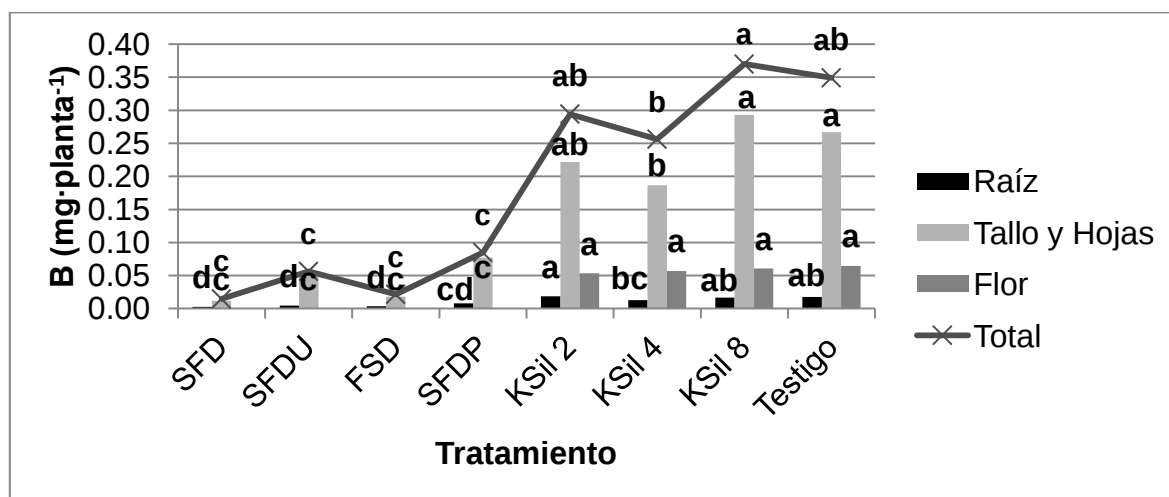
Figura 19. Extracción total de cobre en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

De manera general es posible suponer que la aplicación de silicio en forma de silicato de potasio, estadísticamente no afecta a la absorción del magnesio, sin embargo, si es notoria la disminución de este en los tejidos de las plantas tratadas con dicho elemento lo cual hace suponer que al igual que el hierro el ácido silícico dentro de la planta también reduce los niveles internos del manganeso y otros metales pesados a través de la precipitación de compuestos como Si-Mn y al asegurar su dilución o distribución más uniforme (Epstein, 1994; Gascho, 1977; Elawad y Green, 1979).

5.5.10. Boro

No se encontró diferencia estadística entre los tratamientos KSil 2, KSil 8 y testigo en el contenido de boro en las raíces, tallos, hojas y flores. La media más alta en

cuanto a la absorción o contenido total se presentaron en las plantas del tratamiento KSil 8 con $0.370 \text{ mg}\cdot\text{planta}^{-1}$, es decir 6.9 % más boro absorbido (Figura 20).



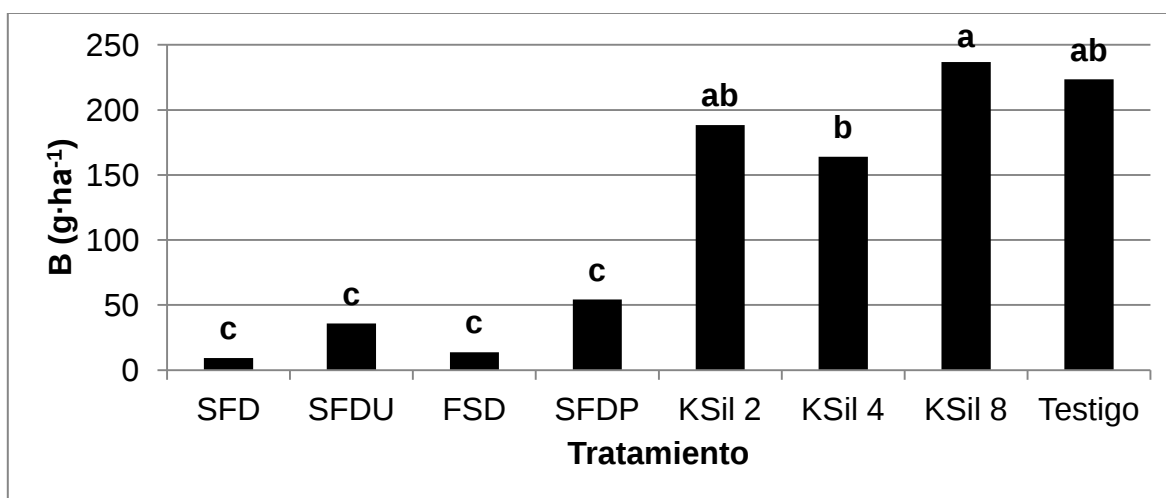
² Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 20. Contenido de boro en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum*) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

En la Figura 21 se puede observar que aunque en las dosis más pequeñas de silicio la extracción de boro es estadísticamente inferior o igual a la extracción de las plantas testigo, el tratamiento KSil 8 mejoró, aunque no estadísticamente, el índice de extracción de este elemento.

Finalmente, tomando en cuenta los parámetros de absorción y extracción se puede deducir una tendencia al aumento en la absorción de boro al aumentar la dosis de silicio en forma de silicato de potasio en las flores de lisianthus, aunque no se encontraron reportes de la acción del silicio en la absorción de boro y es

necesaria mas investigación, de comprobarse el efecto benéfico aquí descrito, esto podría descartar la teoría expuesta por Navarro (2003) quien indica que la similitud química del silicio con el boro, el primero pueda reemplazar o interferir en determinadas funciones del segundo elemento.

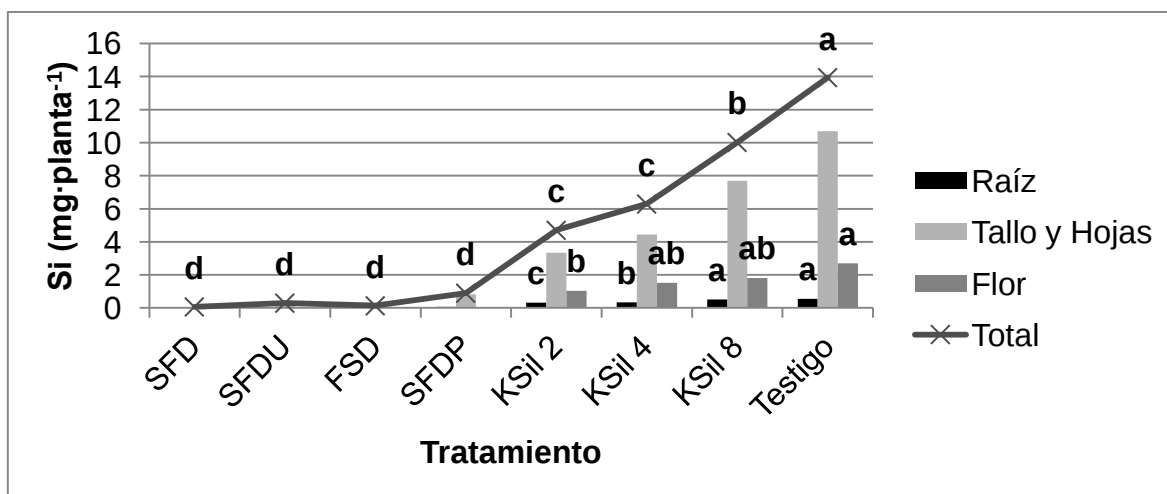


^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 21. Extracción total de boro en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silícea edáfica y foliar.

5.5.11. Silicio

El contenido de silicio en raíz, tallos y flores más alto se presentó en las plantas testigo siendo así el mejor tratamiento al obtener una media de absorción total de $13.944 \text{ mg} \cdot \text{planta}^{-1}$ (Figura 22). La extracción total más alta de Si se presentó también en las plantas testigo con $8.92 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Figura 23).

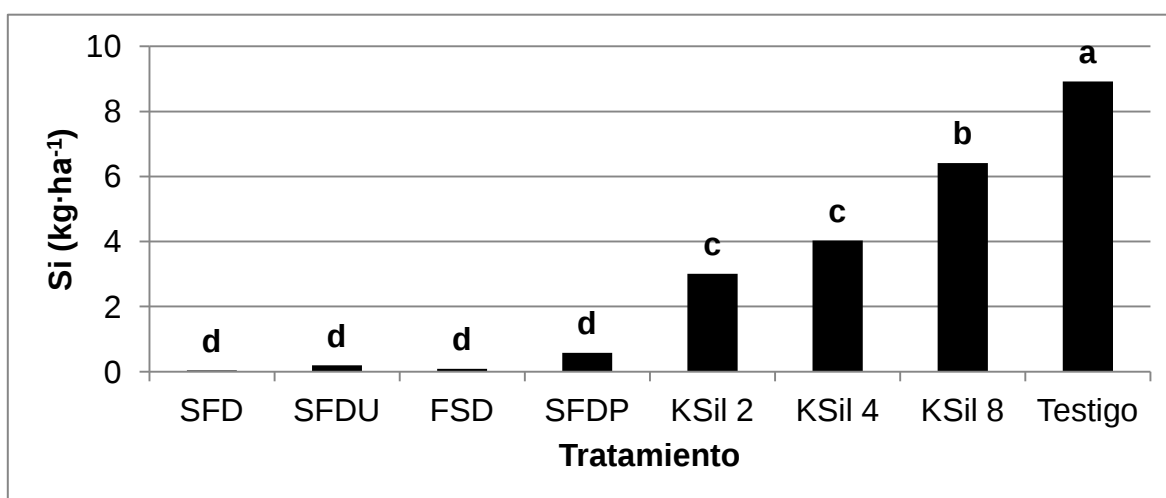


^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 22. Contenido de silicio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceea edáfica y foliar.

Es evidente que la aplicación de silicio vía foliar en forma de silicato de potasio disminuyó su contenido dentro de las plantas de lisianthus; sin embargo, con el aumento en la dosis de este elemento se recupera notablemente su absorción, aunque aún no hay muchos reportes sobre el efecto de la aplicación foliar de silicio sobre su propia absorción, lo encontrado en el presente estudio contradice lo reportado por Arce (2012) quien al aplicar silicato de potasio vía foliar y en la solución nutritiva en plantas de fresa, reportó un aumento en el contenido de silicio en las hojas pero sin que se diera una diferencia estadística con respecto al testigo, mientras que en estudios realizados en pepino por Parra *et al.* (2009) indican que la aplicación de metasilicato de sodio en la solución nutritiva aumentó el contenido de este elemento en las hojas y tallos. Dado a que es probable que el silicio sea adsorbido por la plantas al igual que el agua; es decir acarreado por el

flujo transpiratorio (Trejo-Téllez *et al.* 2009) es probable que la aplicación de silicato de potasio al follaje interfiera en la absorción de silicio al disminuir la absorción de agua por la reducción de la transpiración, como lo indica Snyder *et al.* (2006), esto explicaría la menor acumulación de materia seca; sin embargo, el aumento en la dosis del silicato de potasio posiblemente haga que una mayor cantidad de éste sea absorbido no tanto por las raíces si no por las hojas y una vez dentro de los tejidos de la planta contribuya a mejorar la absorción y movilidad de los macro y micronutrientes estudiados.



^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si.

Figura 23. Extracción total de silicio en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* L.) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceá edáfica y foliar.

VI. CONCLUSIONES

La dosis comercial de 25 kg por metro cubico de sustrato de los fertilizantes Silifertidol, Silifertidol Ultra, Fosfosilidol y Silifertidol Plus provocó fitotoxicidad en las plantas.

La aplicación foliar del fertilizante silicato de potasio (KSil) al 2, 4 y 8 mM de silicio no tuvo efecto en el crecimiento: largo de tallo (LT), diámetro de tallo (DT), número de botones florales (NB), número de hojas (NH), área foliar (AF) y la acumulación de biomasa medida mediante el peso seco de flores, tallo y hojas y raíz (PSF, PSTH y PSR), así como en las variables fisiológicas: contenido de clorofila a, b y total (CCa, CCb y CCT) de las plantas.

El mejor tratamiento fue KSil al 8 mM de silicio aplicado por aspersión al follaje al aumentar significativamente la absorción y extracción, así como la distribución y movilidad de los nutrimentos; magnesio, hierro, nitrógeno, fosforo, boro, potasio y Calcio, No ejerció ningún efecto sobre la absorción del manganeso, zinc y cobre, y redujo la absorción del propio silicio.

VII. LITERATURA CITADA

- ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. 1986. The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*. 58(3):343-351.
- ALCÁNTAR, G. G.; SANDOVAL, V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- ARCE, R. M. E. 2012. Nutrición silíceo fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis de maestría. Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 73 p.
- BACKES, L. F. A. A.; BARBOSA, J. G.; CECON, P. R.; SARAIVA, G. J. A.; BACKES, R. L.; FINGER, F. L. 2007. Cultivo hidropônico de lisianto para flor de corte em sistema de fluxo laminar de nutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(11):1561-1566.
- BACKES, L. F. A. A.; BARBOSA, J. G.; PRIETO, M. H. E.; BACKES, R. L.; FINGER, F. L. 2008. Concentração e conteúdo de nutrientes em lisianto, cultivado em hidroponia, em sistema NFT. *Acta Science Agronomi* 30(4):495-500.
- BARBARO, L. A.; KARLANIAN, M. A.; MORISIGUE, D. 2009. El sistema flotante como alternativa para la producción de plantines de Lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.). *Agriscientia* 26(2):63-69.

- BARBOSA, J.G.; KAMPF, A.N.; MARTINEZ, H.E.P.; KOLLER, O.C.; BOHNEN, H. 2000. Chrysanthemum cultivation in expanded clay. I. Effect of the nitrogen-phosphorus-potassium ratio in the nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*. 23:1327- 1336.
- BATISTA, G. F.; CAMPOS, M. J.; DONIZETE, S. C.; MARCOS, G. M. 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Science Agriculture*. 62:547-551.
- CAMARGO, M. S.; SHIMIZU, L. K.; SAITO, A. M.; KAMEOKA, H. C.; MELLO, C. S.; CARMELLO, C. Q. A. 2004. Crescimento e absorção de nutrientes pelo *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* cultivado em solo. *Horticultura Brasileira* 22 (1):143-146.
- CASTELLANOS, J. Z.; UVELLE-BUENO, J. X.; AGUILLAR-SANTELISES, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo y agua. Segunda edición. Colección INCAPA. México, D.F. 450 p.
- CHALATE-MOLINA, H.; SAN JUAN-HERNÁNDEZ, R.; DIEGO-LAZCANO, G.; PÉREZ, H. P. 2008. Programa Estratégico de Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena Productiva Horticultura Ornamental en el Estado de Veracruz. FUNPROVER - Colegio de Posgraduados. Veracruz, México. 105 p.
- CORADIN, T.; DESCLES, J.; GUANG-ZUO, L.; LOPÉZ, P. J. 2006. Silicon in the photosynthetic lineages: molecular mechanisms for uptake and deposition, pp. 238-244. *In: Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology Vol. 4*.

TEIXEIRA DASILVA, J. A. (ed.). Global Science Books. Reino Unido.

CORTÉS, R. G. 1998. Germinación, micropropagación y enraizamiento *in vitro* de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*, Giseb). Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.

CRUZ-CRESPO, E.; AREVALO-GALARZA, L.; CANO-MEDRANO, R.; GAYTAN-ACUÑA, E. A. 2006. Soluciones pulso en la calidad postcosecha de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. Echo Blue. Agricultura Técnica en México, 32:191-200.

DE DIOS-DELGADO, I., SANDOVAL-VILLA, M., RODRÍGUEZ-MENDOZA, M. N., CÁRDENAS-SORIANO, E. 2006. Aplicaciones foliares de calcio y silicio en la incidencia de mildiu en lechuga. Terra latinoamericana. 24 (1):91-98.

DOLE, M. J.; WILKINS, F. H. 2005. Floriculture Principles and Species. Second Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 1023 p.

DOMÍNGUEZ, R. A. 2002. Cultivo de Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Flores de Altura A. M. Arteaga, Coahuila.
<http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia07.pdf>.
Abril/2012.

ECKER, R.; BARZILAY, A.; OSHERENKO, E. 1994. The genetic relations between length of time to germination and seed dormancy in lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Euphytica 80:125-128.

- ELAWAD, S. H.; GREEN, V. E. 1979. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *Il Riso* 28:235-253.
- EPSTEIN, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Science*. Devis, California, USA. 91:11–17
- EPSTEIN, E. 1999. Silicon. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50:641-664.
- FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER R. R. 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Letters* 249:1-6
- GASCHO, G. J. 1977. Response of sugarcane to calcium silicate slag. I. Mechanisms of response in florida. *Proceedings - Soil & Crop Science Society of Florida* 37:55-58.
- HALEVY, A.; KOFRANEK, A. 1984. Evaluation of Lisianthus as a new flower crop. *HortScience* 5(19):845-847.
- HANKINS, A. 2009. Lisianthus (*Eustoma Grandiflorum*), A New Species for the Cut Flower Market. Extension Specialist-Alternative Agriculture, Virginia State University. http://pubs.ext.vt.edu/2906/2906-1312/2906-1312_pdf.pdf. abril/2012
- HARBAUGH, B. K.; ROH, S. M.; LAWSON, R. H.; PENBERTON, B. 1992. Rosetting of lisianthus cultivars exposed to high temperature. *HortScience* 27(8):885-887.

- HODSON M. J.; WHITE, P. J.; MEAD, A.; BROADLEY, M. R. 2005. Phylogenetic variation in the silicon composition in plants. *Annals of Botany* 96:1027-1046.
- INFOCENTER - FIA. 2010. Análisis Mundial de Estrategia e Innovación Relacionada con las Tecnologías Aplicadas a la Producción de Flor y Follaje de Corte como Oportunidad de Alto Valor Añadido e Identificación de Oportunidades de Mercado para las Especies de la Oferta Chilena y las Especies que Presenten Ventajas Comparativas para Chile . Centro de Inteligencia Competitiva, Económica y Tecnológica – Gobierno de Chile, Fundación para la Innovación Agraria. Santiago de Chile, Chile. 419 p.
- MA J. F.; MITANI, N.; NAGAO, S.; KONISHI, S.; TAMAI, K.; IWASHITA, T.; YANO, M. 2004. Characterization of the silicon uptake system and molecular mapping of the silicon transporter gene in rice. *Plant Physiology* 136:3284-3289.
- MA J. F.; TAMAI, K.; ICHII, M.; WU, K. 2002. A rice mutant defective in active Si uptake. *Plant Physiology* 130:2111-2117.
- MELGARES DE AGUILAR, J. 1996a. El cultivo de Lisianthus I parte. *Horticultura* 113:13-16.
- MELGARES DE AGUILAR, J. 1996b. El cultivo de Lisianthus II parte. *Horticultura* 114:47-50.

- MIN D. W.; KE-QIN, Z.; BIN-WU, D.; KANG-LE, Z.; JIE-YUN, Z.; CAI, R. 2005. Genetic dissection of silicon content in different organs of rice. *Crop Science*. 45:1345-1352.
- NAVARRO, G. G. 2003. Elementos químicos esenciales para algunas plantas, pp. 419-432, *In*: Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- OHKAWA, K.; KANO, A.; KANEMATSU K.; KORENAGA, M. 1991. Effects of air temperature and time on rosette formation in seedlings of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *Scientia Horticulturae*. 48(1-2):171-176.
- OHKAWA, K.; YOSHIZUMI, T.; KORENAGA, M.; KANEMATSU, K. 1994. Reversal of heat-induced resetting in *Eustoma grandiflorum* with low temperatures. *HortScience* 29(3):165–166. 1994.
- OLVERA, A. F. 2004. Evaluación Técnica Financiera de Lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Shinn.) para Flor de Corte Bajo Invernadero. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.
- OROSCO, H. M. E. 2007. Entre la competitividad local y la competitividad global: floricultura comercial en el estado de México. *Convergencia* 14(45):111-160.
- PANAMERICAN SEED™. 2012. GrowerFacts.
http://www.panamseed.com/series_info.aspx?phid=039104598016209.
 Abril/2012.

- PIPERNO D. R.; HOLST, I.; WEASSEL-BEAVAR, L.; ANDRÉS, T. C. 2002. Evidence for the control of phytolith formation in *Cucurbita* fruits by the hard rind (Hr) genetic locus: archeological and ecological implications. Proceedings of the National Acadademy of Science of the United States of America 99:10923-10928.
- PARRA, T.S.; BACA, C. G. A.; TIRADO, T. J. L.; VILLAREAL, R. M.; SÁNCHEZ, P. P; HERNÁNDEZ, V. S. 2009. Calidad de fruto, composición y distribución de elementos minerales en pepino en respuesta a silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva. Terra latinoamericana. 27 (2): 123-132.
- PARRA-TERRAZA, S.; BACA-CASTILLO, G. A.; CARRILLO GONZÁLEZ, R.; KOHASHI-SHIBATA, J.; MARTÍNEZ-GARZA, A.; TREJO-LÓPEZ, C. 2004. Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. Terra latinoamericana. 22(4):467-473.
- SAKATA, 2011. Ficha técnica del cultivo lisianthus para flor de corte. http://www.sakataornamentals.com/_cclib/attachments/plants/pdf-3284.pdf
- SAS INSTITUTE INC. 2006. Base SAS 9.1.3 Procedures Guide, Second Edition, Volumes 1, 2, 3, and 4. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SCHOCHOW, M.; TJOSVOLD, S. A.; PLOEG, A. T. 2004. Host status of lisianthus 'Mariachi Lime Green' for three species of root-knot nematodes. HortScience 39(1):120-123.

- SNYDER G. H.; MATICHENKOV, V. V.; DATNOFF, L. E. 2006. Silicon, pp. 551-568. *In: Handbook of de Plant Nutrition.* BARKER V. A.; PILBEAM D. J. (eds.). CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida, USA.
- TAKAHASHI, E.; MA, J. F.; MIYAKE, Y. 1990. The possibility of silicon as an essential element of higher plantas. *Comments on Agricultural and Food Chemistry* 2:99-122.
- TAMAI, K.; Ma J. F. 2003. Characterization of silicon uptake by rice roots. *New Phytologist* 158:431–122.
- TREJO-TÉLLEZ L. I.; GÓMEZ-MERINO F. C.; ALCANTAR G. G. 2009. Elementos beneficos. 55-60. *In: Nutrición de Cultivos.* ALCANTAR G. G. Y TREJO-TÉLLEZ L. I. (eds.). Mundi-Prensa. D.F., México.
- VELÁZQUEZ, M. J. 2008. Extracción nutrimental en lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. Mariachi. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 85 p.
- WANG, S. Y.; GALLETTA, G. J. 1998. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition* 21(1):157-167.
- WANG, Y.; STASS, A.; HÖRST, W. J. 2004. Apoplastic binding of aluminum is involved in silicon induced amelioration of aluminum toxicity in maize. *Plant Physiology* 136:3762-3770.

WITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. 1971. Experiments in Plant Physiology. Van Nostrand Reinhold Company. N.Y.

YOSHIDA, S.; NAVASERO, S. A.; RAMIREZ, E. A. 1969. Effects of silica and nitrogen supply on some leaf characters of rice plants. Plant and Soil 31:48-56.

VIII. ANEXOS

Cuadro 1A. Contenido de clorofila a, b y total en plantas de lisianthus (*E. grandiflorum*) cv. Mariachi cultivadas bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

Tratamiento	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
	mg·g ⁻¹		
KSil 8	0.771 a^z	0.415 a	1.186 a
Testigo	0.727 a	0.391 a	1.118 a
KSil 4	0.626 a	0.346 ab	0.972 a
KSil 2	0.446 b	0.263 b	0.708 b
SFDP	0.235 c	0.148 c	0.383 c
SFDU	0.117 cd	0.064 cd	0.181 cd
FSD	0.062 d	0.052 d	0.115 d
SFD	0.071 d	0.037 d	0.108 d
DMS	0.151	0.091	0.234
C.V.	19.33106	20.74762	19.18683

^z Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si; **DMS**: diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.

Cuadro 2A. Contenido de nutrimentos en raíces de plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* cv. Mariachi) cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

TRAT	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Si
	mg·planta ⁻¹										
SFD	0.42 c^z	0.023 e	0.32 d	0.107 de	0.045 e	0.005 b	0.001 d	0.007 d	0.003 d	0.002 d	0.015 c
SFDU	0.68 c	0.055 de	0.60 cd	0.131 de	0.084 de	0.009 b	0.002 cd	0.010 cd	0.005 d	0.004 cd	0.022 c
FSD	0.38 c	0.026 e	0.26 d	0.062 e	0.033 e	0.005 b	0.001 d	0.005 d	0.004 d	0.002 d	0.014 c
SFDP	1.00 c	0.137 cd	1.02 bc	0.244 dc	0.141 cd	0.024 b	0.004 bc	0.021 b	0.008 cd	0.007 bc	0.075 c
KSil 2	2.92 b	0.320 a	1.61 a	0.646 a	0.296 ab	0.074 a	0.011 a	0.034 a	0.019 a	0.014 a	0.323 b
KSil 4	2.61 b	0.206 c	1.48 ab	0.380 bc	0.206 bc	0.058 a	0.009 a	0.019 bc	0.013 bc	0.008 b	0.337 b
KSil 8	4.80 a	0.219 bc	1.56 a	0.538 ab	0.307 a	0.066 a	0.011 a	0.024 b	0.016 ab	0.008 b	0.506 a
Testigo	3.26 b	0.295 ab	1.72 a	0.575 a	0.299 a	0.063 a	0.011 a	0.024 b	0.017 ab	0.014 a	0.560 a
DMS	1.047	0.085	0.535	0.173	0.089	0.020	0.003	0.010	0.005	0.004	0.124
C.V	46.165	46.957	44.279	45.677	44.995	47.399	45.879	46.993	44.862	45.493	47.351

^z Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si; **DMS**: diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.

Cuadro 3A. Contenido de nutrientes en tallos de plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* cv. Mariachi) cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

TRAT	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Si
	mg·planta ⁻¹										
SFD	3.51 c^z	0.36 c	4.39 c	1.29 e	1.02 d	0.03 d	0.01 c	0.04 d	0.01 c	0.02 d	0.05 d
SFDU	15.26 c	1.32 c	13.08 c	5.11 de	4.46 cd	0.12 cd	0.04 c	0.13 cd	0.05 c	0.06 cd	0.27 d
FSD	6.28 c	0.44 c	6.81 c	1.44 e	1.53 cd	0.06 cd	0.01 c	0.06 d	0.02 c	0.04 d	0.12 d
SFDP	25.49 c	2.08 c	22.40 c	8.51 cd	7.50 c	0.16 c	0.06 c	0.23 bc	0.08 c	0.12 bc	0.82 d
KSil 2	69.95 ab	5.65 a	49.38 ab	13.64 b	16.21 b	0.31 b	0.25 ab	0.28 ab	0.22 ab	0.17 ab	3.34 c
KSil 4	65.84 b	5.38 a	48.70 b	12.82 c	17.10 ab	0.32 ab	0.21 b	0.30 ab	0.19 b	0.17 ab	4.45 c
KSil 8	91.54 a	7.12 a	66.99 a	21.57 a	22.50 a	0.43 a	0.31 ab	0.32 ab	0.29 a	0.23 a	7.70 b
Testigo	50.73 b	5.18 a	56.14 ab	18.61 ab	16.45 b	0.28 b	0.35 a	0.35 a	0.27 a	0.23 a	10.69 a
DMS	23.644	1.933	18.104	5.526	6.0316	0.116	0.1332	0.112	0.077	0.067	1.955
C.V	51.034	49.782	48.234	46.225	49.313	48.226	52.531	46.345	48.219	45.765	50.523

^z Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si; **DMS**: diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.

Cuadro 4A. Contenido de nutrientes en flores de plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* cv. Mariachi) cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

TRAT	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Si
mg·planta ⁻¹											
KSil 2	15.40 a ^z	2.538 a	9.85 a	1.520 a	2.696 a	0.053 a	0.040 a	0.053 a	0.053 a	0.019 a	1.042 b
KSil 4	13.90 a	2.206 a	8.23 a	1.558 a	2.344 a	0.045 a	0.025 a	0.047 a	0.057 a	0.015 a	1.513 ab
KSil 8	18.21 a	2.549 a	9.38 a	1.532 a	2.548 a	0.049 a	0.029 a	0.053 a	0.061 a	0.028 a	1.818 ab
Testigo	21.18 a	2.760 a	10.70 a	1.462 a	2.919 a	0.060 a	0.030 a	0.057 a	0.065 a	0.026 a	2.692 a
DMS	14.318	2.053	7.810	1.220	2.143	0.043	0.026	0.043	0.048	0.0188	1.550
C.V	86.234	83.777	84.674	83.116	84.389	84.962	84.975	84.592	83.998	87.976	90.764

^z Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05). **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **SFD**: silifertidol 36.25-48.05 g de Si; **SFDU**: silifertidol ultra 96.1- 106.22 g de Si; **FSD**: fosfosilidol 73.34-80.37 g de Si; **SFDP**: silifertidol plus 58.17-70.81 g de Si; **DMS**: diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.

Cuadro 5A. Extracción total de nutrimentos de plantas de lisianthus (*E. grandiflorum* cv. Mariachi) cultivados bajo fertilización silíceo edáfica y foliar.

TRAT	N	P	K	Ca	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	B	Cu
	Kg·ha ⁻¹						g·ha ⁻¹				
SFD	2.52 c ^z	0.25 b	3.02 b	0.88 e	0.68 b	0.04 d	20.13 c	6.78 b	31.53 d	9.40 c	14.79 e
SFDU	10.20 c	0.88 b	8.76 b	3.35 de	2.91 b	0.19 d	80.83 bc	26.61 b	90.60 cd	35.98 c	43.60 de
FSD	4.27 c	0.30 b	4.52 b	0.96 e	1.00 b	0.09 d	38.86 bc	7.48 b	40.53 d	13.78 c	26.54 e
SFDP	16.95 c	1.42 b	14.99 b	5.60 dc	4.89 b	0.58 d	117.16 b	49.38 b	161.81 bc	54.28 c	78.61 cd
KSil 2	56.50 ab	5.44 a	38.94 a	10.11 bc	12.29 a	3.01 c	278.90 a	184.98 a	233.41 ab	188.29 ab	131.59 ab
KSil 4	52.70 b	4.99 a	37.38 a	9.45 b	12.57 a	4.03 c	273.35 a	181.18 a	231.36 ab	164.02 b	120.35 bc
KSil 8	73.32 a	6.33 a	49.88 a	15.13 a	16.23 a	6.41 b	351.80 a	220.04 a	256.44 a	236.73 a	167.63 ab
Testigo	48.11 b	5.27 a	43.88 a	13.22 ab	12.59 a	8.92 a	257.08 a	239.10 a	273.74 a	223.48 ab	171.09 a
DMS	20.141	2.022	14.229	3.931	4.5314	1.873	96.253	65.471	88.044	67.582	49.622
C.V	53.997	57.656	50.120	47.503	50.895	50.523	48.140	50.719	47.328	48.219	46.665

^z Medias con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de comparación de medias de Tukey (P≤0.05). **SFD**: silifertidol; **SFDU**: silifertidol ultra; **FSD**: fosfosilidol; **SFDP**: silifertidol plus; **KSil 2**: Ksil al 2 mM de Si; **KSil 4**: Ksil al 4 mM de Si; **KSil 8**: Ksil al 8 mM de Si; **DMS**: diferencia mínima significativa; **C.V.**: coeficiente de variación.