

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Respuestas del *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* a la Alcalinidad en Agua  
de Riego con Niveles Suplementarios de Calcio

Por:

**LILIANA BARRIOS BARRIONUEVO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuestas del *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* a la Alcalinidad en Agua de Riego con Niveles Suplementarios de Calcio

Por:

**LILIANA BARRIOS BARRIONUEVO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada:



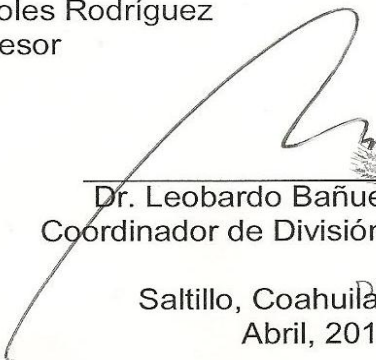
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Asesor Principal



Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez  
Coasesor



Dr. Valentín Robledo Torres  
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Abril, 2013

Coordinación

División de Agronomía

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis Padres porque gracias a su cariño, amor, apoyo y confianza que en mi se depositó, he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida, la culminación de mi carrera profesional, siendo el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual viviré eternamente agradecida. Así también, hacerlos sentirse orgullosos de esta persona que tanto los ama.

A mis Hermanos quienes la mayor ilusión de su vida ha sido verme convertida en una mujer de bien, por el amor, cariño y apoyo incondicional brindado.

A la UAAAN por abrirme sus puertas y haberme permitido ser parte de esta institución, con respeto y cariño a mi ALMA TERRA MATER.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por su apoyo incondicional y la atención prestada en la realización de este trabajo, por su gran amistad y por todas sus enseñanzas (“júntate conmigo”).

A la Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez por su colaboración y apoyo en la realización de este trabajo.

Al Dr. Dr. Valentín Robledo Torres por su colaboración y apoyo en la realización de este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de generación, y demás personas, que me brindaron su apoyo para la realización de este trabajo, gracias.

## DEDICATORIAS

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres, porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre tuve de ustedes una palabra de aliento en los momentos difíciles de mi carrera, y por el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo llegar hasta el final, este logro no es solo mío sino suyo también, gracias por todo.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y porque siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles, los quiero mucho.

Con amor, cariño, admiración y respeto.

Lily

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIAS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
Clasificación Botánica del Lisianthus.....	4
Morfología del Lisianthus.....	4
Alcalinidad.....	5
Alcalinidad en el Suelo.....	6
Alcalinidad en el Agua de Riego.....	8
Efectos de la Alcalinidad en Plantas.....	9
Control de la Alcalinidad en el Agua de Riego.....	11
El Potasio en las Plantas.....	13
El Calcio en las Plantas.....	14

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
Localización y Características del Sitio Experimental.....	15
Establecimiento y Manejo del Experimento.....	15
Material Vegetal.....	15
Trasplante.....	16
Descripción de los Tratamientos.....	16
Aplicación de los Tratamientos.....	18
Variables Evaluadas.....	18
Diseño Experimental y Modelo Estadístico.....	21
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
1. Variables de Crecimiento.....	22
2. Análisis Mineral de Hojas.....	33
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	43
<b>VI. LITERATURA CITADA</b> .....	44
<b>VII. APÉNDICE</b> .....	50

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 3.1.</b> Descripción de tratamientos.....	16
<b>Cuadro 3.2.</b> Fertilizantes empleados para la preparación de las soluciones nutritivas.....	17
<b>Cuadro A.1.</b> Comparación de medias (de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan, $p \leq 0.5$ ) y Anova de altura de planta, diámetro de tallo y flor y número de hojas de plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivado en lana roca.....	51
<b>Cuadro A.2.</b> Comparación de medias (de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan, $p \leq 0.5$ ) y Anova de número de flores, peso seco de hoja, tallo y flor y peso seco total de plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivado en lana roca.....	51
<b>Cuadro A.3.</b> Comparación de medias (de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan, $p \leq 0.5$ ) y Anova sobre contenido mineral de hojas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivado en lana roca..	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 4.1</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en la altura de planta de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	23
<b>Figura 4.2</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en diámetro de tallo de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	24
<b>Figura 4.3</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en diámetro de flor de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	25
<b>Figura 4.4</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en número de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	26
<b>Figura 4.5</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en número de flores de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	27
<b>Figura 4.6</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	29
<b>Figura 4.7</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco de tallo de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	30
<b>Figura 4.8</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco de flor de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	31
<b>Figura 4.9</b> Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco total de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	32



<b>Figura 4.10</b>	Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de Ca de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	34
<b>Figura 4.11</b>	Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de Fe de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	35
<b>Figura 4.12</b>	Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de K de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	37
<b>Figura 4.13</b>	Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de Mg de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	38
<b>Figura 4.14</b>	Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de P de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	40
<b>Figura 4.15</b>	Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de N de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.....	41

## RESUMEN

El lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) es una especie ornamental de reciente introducción en el mercado de flores de corte de México, y representa una novedosa alternativa para la comercialización de flores de corte, debido a la buena aceptación por los consumidores por su amplia gama de colores y la larga vida de florero, lo cual ha propiciado que su participación en el mercado aumente año con año. En virtud de la importancia que en la actualidad representa este cultivo y la poca información que se cuenta para la producción del mismo, así como los problemas de alcalinidad que se enfrentan en muchas regiones de México, se realizó el presente estudio. En el experimento se evaluaron las respuestas de las plantas a la interacción de tres concentraciones de Ca (4, 6 y 8 mM), con dos niveles de alcalinidad (1 y 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$ ), en la solución nutritiva (la concentración de los elementos restantes en la solución nutritiva fue de acuerdo a la fórmula propuesta por Hoagland), sobre el crecimiento y la concentración mineral de las hojas (Ca, Fe, K, Mg, P y N) de las plantas. El grado de alcalinidad no tuvo afectación significativa en el crecimiento de las plantas, con excepción de número de hojas. El peso seco de flor tuvo un efecto favorable a una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  combinada con una alta concentración de Ca (6 y 8 mM) en el agua de riego. En la concentración mineral de Ca, K, Fe y P de las hojas se tuvo afectación significativa por un alto grado de alcalinidad en la solución nutritiva. La concentración mineral de Mg y N de las hojas no fue afectada por el grado de alcalinidad en la solución nutritiva.

**Palabras Clave:** Lisianthus, calcio, alcalinidad, crecimiento, solución.

## INTRODUCCIÓN

El mercado de flores de corte demanda la introducción de nuevas especies, amplia gama de colores, así como larga vida de florero. El lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) representa una alternativa para la comercialización de flores de corte, destacándose por sus novedosas y atractivas flores, tallos y hojas. Su participación en el mercado ha ido incrementando año con año, debido a la buena aceptación por los consumidores, ya que es una especie bella, novedosa, vistosa, con una larga vida de florero y con un gran potencial de mercado (Melgares de Aguilar, 1996). En México el lisianthus 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, y se cultiva en una superficie de 20 ha en los estados de Hidalgo, Morelos, Coahuila, Michoacán, Estado de México, Puebla y Guanajuato (Torres, 2010).

La alcalinidad es la concentración de álcalis solubles con la capacidad para neutralizar ácidos (Bailey, 1996), y mide la capacidad amortiguadora del agua causada por la eliminación de  $H^+$  de la solución (Kuehny y Morales, 1998). Los iones más importantes que determinan la alcalinidad son  $HCO_3^-$  y  $CO_3^{2-}$ , mientras que el hidróxido, borato, amoníaco, bases orgánicas, fosfatos y silicatos son considerados contribuyentes menores (Petersen, 1996). La alcalinidad, es considerada crítica debido al impacto que representa en el suelo y en el pH de una solución (Petersen, 1996) y afecta el crecimiento de las plantas a través de una disminución en la solubilidad de los nutrientes. La disminución de la solubilidad de los nutrientes es causada por el incremento de pH asociada con concentraciones crecientes de  $CO_3^{2-}$  (Lunt *et al.*, 1956).

Cuando los  $\text{CO}_3^-$  se acumulan en una solución, el pH de la solución alcanza niveles que causan la inhibición del crecimiento de las plantas, la cual es causada principalmente por la transformación de las formas solubles de Fe en formas insolubles (Petersen, 1996). Los suelos alcalinos cubren alrededor del 25 % de la superficie terrestre y son particularmente abundantes en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo. En México este tipo de suelos se localiza en las regiones centro y norte. La actividad agrícola rentable en suelos alcalinos implica la adición de altas cantidades de fertilizantes cuyo uso desmedido tiene altos costos económicos y ecológicos (Traina and Laperche, 1999).

El lisianthus es originario de las regiones áridas y semiáridas del norte de México y sur de los Estados Unidos (Melgares de Aguilar, 1996). Debido a la mencionado anteriormente, y a la alternativa innovadora que el cultivo de lisianthus representa en la producción de flores de corte en la actualidad, es necesario generar información relacionada con la tolerancia a la alcalinidad del lisianthus y el efecto del Ca a la misma, puesto que este nutrimento se ha reportado asociado con el aumento en la tolerancia a otros estreses bióticos y abióticos en la planta. El presente estudio se estableció con los siguientes objetivos e hipótesis:

## **OBJETIVOS**

- Evaluar el efecto de la alcalinidad sobre el crecimiento de las plantas de lisianthus.
- Determinar el efecto del Ca sobre el crecimiento de las plantas de lisianthus.

- Evaluar la interacción del Ca y la alcalinidad sobre el crecimiento y contenido mineral de hojas en plantas de lisianthus.

## **HIPÓTESIS**

- El crecimiento de las plantas de lisianthus será afectado negativamente por el aumento de la alcalinidad en la solución nutritiva.
- La concentración de Ca en la solución nutritiva modificará la respuesta a la alcalinidad del lisianthus.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## Origen y Clasificación Botánica del Lisianthus

Según Melgares de Aguilar (1996), el cultivo de lisianthus es originario de las praderas húmedas de la zona meridional de los Estados Unidos y norte de México. Pertenece a la familia de las Gencianáceas, clasificándose de la siguiente manera:

**Género** – *Eustoma*

**Especie** – *Eustoma grandiflorum*

## Morfología del Lisianthus

El lisianthus es una planta que puede ser cultivada de ciclo anual o bianual (Melgares de Aguilar, 1996), como flor de corte, requiere desde la siembra hasta la parición de las primeras flores de 6 a 7 meses (Halevy y Kofranek, 1984), florece naturalmente en los meses de verano y otoño, y se comporta como una planta bianual (Harbaugh, 1992). El lisianthus es una planta herbácea que forma una roseta de hojas, sobre las cuales se desarrolla un tallo muy rígido con hojas verde azulado que puede alcanzar un largo de 50 cm a 90 cm, en cuyo extremo aparecen las flores largamente pecioladas de 6 a 9 centímetros de diámetro y 7 a 10 centímetros de largo, estas flores pueden ser simples o dobles (Vidalie, 1992).

Las flores maduran y se abren acropetalamente, están compuestas por un cáliz de cinco sépalos, una corola de cinco pétalos, cinco estambres unidos a la base de la corola y un solo ovario con dos estigmas (Bailey, 1950).

En el cultivo de *lisianthus* generalmente se obtienen dos cosechas, en la primera cosecha, la producción normalmente es de buena calidad, obteniendo de tres a cuatro tallos florales por planta. Las flores de la segunda cosecha (alrededor de tres a cuatro meses después de la primera cosecha) son de menor calidad que las de la primera cosecha y tienen flores más pequeñas (Halevy y Kofranek, 1984).

### **Alcalinidad**

La alcalinidad es definida como la concentración de alcalinos solubles con la capacidad para neutralizar ácidos (Bailey, 1996) y mide la capacidad amortiguadora del agua causada por la eliminación de  $H^+$  de la solución (Kuehny y Morales, 1998). Los iones más importantes que determinan la alcalinidad son  $HCO_3^-$  y  $CO_3^{2-}$ , mientras que el hidróxido, borato, amoníaco, bases orgánicas, fosfatos y silicatos son considerados contribuyentes menores (Petersen, 1996).

El  $HCO_3^-$  es un tampón, ya que puede donar y aceptar  $H^+$ , impartir la capacidad de resistir los cambios bruscos en el pH. Bajo un pH normal del medio de cultivo, el  $HCO_3^-$  reacciona con el  $H^+$  en la solución del medio de cultivo, lo que podría elevar el pH hasta niveles indeseables (Bierbaum, 1994). El  $HCO_3^-$  puede ser producido por la disolución del  $CO_2$  en el agua o mediante la disolución de calcita o de otro tipo de  $CO_3^{2-}$  (Lucena, 2000).

Según Bialczyk *et al.* (1994) el efecto inhibitorio del  $\text{HCO}_3^-$  en procesos metabólicos causa una disminución en la concentración de nutrientes, un deterioro en la actividad de la raíz (Yang *et al.*, 1993), una disminución en la disponibilidad de nutrientes en suelos con un pH alto (Alcántara *et al.*, 1988), y un aumento en el eflujo neto de nutrientes (Alhendawi *et al.*, 1997).

La alcalinidad, es considerada crítica debido al impacto que representa en el suelo y en el pH de una solución (Petersen, 1996). Algunas veces se confunde la alcalinidad con un pH alcalino, un pH alto o alcalino es causado por una alta proporción de iones de  $\text{OH}^\pm$  en relación con la proporción de iones de  $\text{H}^\pm$  (Handreck y Black, 2002). La difusión lenta de  $\text{CO}_2$  puede elevar la alcalinidad de 1 a 4 mM (Takkar *et al.*, 1987) o hasta 10 mM si los suelos son calcáreos y ricos en materia orgánica (McCray y Matocha, 1992).

### **Alcalinidad en el Suelo**

Los suelos alcalinos cubren alrededor del 25 % de la superficie terrestre y son particularmente abundantes en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo. En México este tipo de suelos se localiza en las regiones centro y norte. Entre las características de estos suelos destaca su elevado contenido de cationes (Ca y Mg principalmente), que eleva el pH a niveles superiores a 8.5, provocando que nutrientes esenciales se transformen en moléculas insolubles difícilmente utilizables por las plantas (Marschner, 1995).

La actividad agrícola rentable en suelos alcalinos implica la adición de altas cantidades de fertilizantes cuyo uso desmedido tiene altos costos económicos y ecológicos (Traina y Laperche, 1999). El riesgo de toxicidad por metales pesados en suelos alcalinos es muy bajo, ya que la mayoría de ellos pasan a formas insolubles. Sin embargo, algunos nutrimentos esenciales como Ca y P también se precipitan volviéndose no disponibles para el cultivo.



Cuando los abonos orgánicos contienen metales pesados, como en el caso de biosólidos, los suelos de zonas áridas con pH alcalino son la mejor opción para utilizar este tipo de abonos. En estas condiciones, los metales pesados se precipitan y permanecen insolubles, formando una barrera natural a la absorción de metales por los cultivos (Assadian *et al.*, 1998).

Los suelos alcalinos se forman en regiones áridas, debido a la precipitación insuficiente para lavar el suelo, así como cuando las aguas freáticas transportan bases a los suelos situados en topografías deprimidas y las concentran en ellos al evaporarse, algunos materiales parentales proporcionan cantidades de bases excepcionalmente elevadas, manteniendo una alta concentración de las mismas en los suelos jóvenes (Thompson y Troeh, 2002).

La alcalinidad de un suelo depende mucho del equilibrio entre micelas cargadas negativamente y cationes cargados positivamente (sobre todo Ca, Mg, K y Na). Estos cationes suelen llamarse bases porque, generalmente, cuando las cargas positivas de aquellos exceden en número a las cargas negativa de las micelas, existen suficientes iones  $\text{OH}^-$  para alcalinizar el sistema (Cepeda, 2007).

El  $\text{CO}_2$  y los  $\text{CO}_3^-$  causan cambios en el pH del suelo, acidificantes y alcalinizantes respectivamente, que a su vez modifican la solubilidad de los nutrientes (Lindsay, 1979). La concentración de Fe soluble en el suelo disminuye 1000 veces más por el aumento de cada unidad de pH, el Zn, Cu y Mn también son menos solubles a una alcalinidad inducida por un pH alto (Barber *et al.*, 1995).

Otros factores que contribuyen al aumento de la alcalinidad en los suelos son un alto contenido de materia orgánica con un índice de decaimiento rápido, o una presión parcial de  $\text{CO}_2$  encima de la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico, de volumen de 0.5 % a 1.5 % o 10 veces mayor que la concentración atmosférica (Larcher, 1975).

## Alcalinidad en el Agua de Riego

La alcalinidad en el agua de riego impide la acidificación de la solución de un medio de cultivo mediante el consumo de  $H^+$  resultando en un pH más alto, y a través de la irrigación continua, el pH del medio de cultivo podría alcanzar niveles peligrosos a causa de la acumulación de  $HCO_3^-$  y  $CO_3^-$ . El pH creciente de la solución del medio controla la solubilidad de los nutrientes y en condiciones de pH alto, se presenta con frecuencia una deficiencia de muchos micronutrientes, principalmente Fe. La alta alcalinidad en el agua puede ser perjudicial, pero el agua con alcalinidad cero no son necesariamente recomendados (Bailey, 1996).

La capacidad tampón de la alcalinidad ayuda a evitar cambios bruscos de pH en la solución del medio de cultivo, que pueden causar desequilibrios en la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, un bajo nivel de alcalinidad en el agua es deseable (Bailey, 1996).

Un pH extremadamente alto (superior a 9) puede lesionar directamente algunas plantas, pero lo más importante son las deficiencias de nutrientes o toxicidades inducidas por un pH alto. El Ca está inmovilizado debido a un pH alto y favorece la formación de  $CO_3^-$  de  $CO_2$ , y  $CO_3^-$  de precipitados con Ca, como  $CaCO_3$ . Los trastornos de micronutrientes relacionados con la alcalinidad son deficiencias de Zn y Fe, con menor frecuencia, deficiencia de Cu y Mn, y la toxicidad de B. Un pH alto afecta negativamente el comportamiento de sorción de estos elementos en el suelo. Estos problemas pueden verse agravados por el exceso de B o  $HCO_3^-$  en el agua de riego, y por la exposición de los subsuelos calcáreos alcalinos cuando el terreno está nivelado para riego (Singer y Munns, 1991).

## Efectos de la Alcalinidad en las Plantas

Los suelos alcalinos crean problemas tanto químicos como físicos, estos últimos no siempre se presentan, pero cuando lo hacen perjudican de manera importante al crecimiento de todos los cultivos. Los problemas químicos existen de algún modo en todos los suelos alcalinos pero pueden ser no serios, su gravedad se halla correlacionada con la magnitud en que el pH se halla por encima de 7.0. Los problemas químicos se originan por la reducida disponibilidad de P, K y de la mayoría de los micronutrientes, siendo las deficiencias de Fe especialmente más frecuentes en suelos alcalinos (Thompson y Troeh, 2002).

Por otra parte, en algunos casos un suelo alcalino contiene tal cantidad de sales solubles, que las plantas tienen dificultades para absorber el agua; la presión osmótica en la solución del suelo puede superar a la de las células vegetales normales (Thompson y Troeh, 2002).

Los problemas físicos se originan de la dispersión de los coloides del suelo, las partículas dispersas forman costras y bloquean los poros. La permeabilidad del suelo desciende a valores tan bajos, que en algún caso es inferior a la tasa de evaporación. Esta situación imposibilita el crecimiento de las plantas y dificulta mucho la aplicación de enmiendas químicas para corregir el problema (Thompson y Troeh, 2002).

La alcalinidad afecta el crecimiento de las plantas a través de una disminución en la solubilidad de los nutrientes. La disminución de la solubilidad de los nutrientes es causada por el incremento de pH asociada con concentraciones crecientes de carbonatos (Lunt *et al.*, 1956). Cuando los  $\text{CO}_3^-$  se acumulan en una solución, el pH de la solución alcanza niveles que causan la inhibición del crecimiento de las plantas, la cual es causada principalmente por la transformación de las formas solubles de Fe en formas insolubles (Petersen, 1996).

El síntoma más notable de la alcalinidad excesiva es la inducción de una clorosis intervenal en las hojas más jóvenes de las plantas y el retraso del crecimiento (Pearce *et al.*, 1999). La clorosis de las hojas se correlaciona con una disminución en el contenido de la clorofila en las hojas superiores (Alcántara *et al.*, 1988).

Según Qi *et al.* (1994) elevadas concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  inhiben la respiración de las raíces, dado que la tasa de respiración de la raíz es muy alta en la zona apical (Bingham y Stevenson, 1993), el meristemo de la raíz, y por lo tanto, el crecimiento de las raíces se ve afectado (Alhendawi *et al.*, 1997).

La disminución del crecimiento de la parte aérea de la planta se atribuye a una baja tasa fotosintética que ocurre en las hojas cloróticas inducidas por el  $\text{HCO}_3^-$ . Se produce una menor tasa fotosintética debido al deterioro de la clorofila por una baja translocación de Fe (Bavaresco *et al.*, 1999) o a una menor solubilidad del Fe en el suelo o en la solución del medio de cultivo.

Las plantas han desarrollado mecanismos para superar la deficiencia de Fe, entre ellas: aumentar la capacidad de la Fe reductasa, extrusión neta de  $\text{H}^+$ , la liberación de compuestos fenólicos, tales como el ácido caféico en dicotiledóneas y monocotiledóneas no gramíneas, la liberación de fitosideróforos para actuar como quelatantes de Fe en plantas gramíneas, y la formación de raíces proteiformes con una actividad de la reductasa alta y alta capacidad de liberar  $\text{H}^+$  en dicotiledóneas anuales y perennes (Marschner, 1995).

## Control de la Alcalinidad en el Agua de Riego

La alcalinidad es considerada crítica debido a sus efectos directos e indirectos sobre el crecimiento, la calidad y la comerciabilidad de las plantas (Kuehny y Morales, 1998). La calidad del agua es un factor importante en la industria ornamental porque puede determinar las especies que se pueden cultivar, la necesidad de tratamiento previo del agua y el método para los parámetros de calidad del agua a utilizar, la frecuencia y la cantidad de riego. La alcalinidad óptima recomendada en el agua de riego varía entre 0 y 2,6 mM  $\text{HCO}_3^-$  (Bierbaum, 1994).

El pH de una solución media (la solución del agua en los poros de sustratos de cultivo) controla la relativa disponibilidad de nutrientes, especialmente micronutrientes para las plantas. El pH y la alcalinidad del agua de riego son factores dominantes que afectan el pH de la solución media. El control del pH de la solución media es esencial para una estrategia de fertilización de cultivos exitosa, e implica la modificación del contenido de pH y la alcalinidad del agua de riego (Reed, 1996).

La alcalinidad es relacionada con el pH porque establece la capacidad de amortiguación del agua y es la principal causa de amortiguamiento del agua, la alcalinidad afecta la cantidad de ácido necesario para cambiar el pH del agua, cuanto mayor es la alcalinidad, mayor cantidad de ácido se requerirá para lograr un menor pH del agua (Reed, 1996).

Cuando un ácido se disuelve en agua, este libera iones  $\text{H}^+$ , dando a la solución un carácter ácido (Cepeda, 2007). La única forma económica para eliminar la alcalinidad en el agua es de neutralizarla con ácidos, la inyección de ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico en agua de riego mejora la calidad de un pH alto del agua con alta alcalinidad mediante la reducción de la cantidad de  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^-$  para prevenir un aumento del pH de la solución media (Reed, 1996).

Para predecir con precisión la cantidad de ácido necesaria para acidificar el agua a un pH dado, es necesario conocer el pH y la alcalinidad del agua de riego. Sin embargo, si no se decide acidificar el agua de riego, se debe neutralizar los álcalis en el agua utilizada para crear las soluciones nutritivas para ayudar a evitar la precipitación de los fertilizantes (Reed, 1996).

Cuanto más elevado es el grado de alcalinidad mayor será la dificultad para recuperarlo (Cepeda, 2007). Por ejemplo, un productor A tiene un agua con un pH de 9,3 y una alcalinidad de 71 mg/1 CaCO<sub>3</sub> (CO<sub>3</sub> totales= 1,42 me/1 CaCO<sub>3</sub>), para reducir el pH de esta agua a 5,8, se tarda 15,76 oz fluidas (466 ml) de ácido sulfúrico al 35% por 1.000 galones (3,8 kl) de agua. En contraste, un productor B tiene agua con un pH de 8,3 y una alcalinidad de 310 mg/1 CaCO<sub>3</sub> (CO<sub>3</sub> totales= 6,20 me /1 CaCO<sub>3</sub>) para reducir esta agua a un pH de 5,8, se tarda 68,64 oz fluidas de ácido sulfúrico al 35% por 1.000 galones (3,8 kl) de agua, a pesar de que el agua del productor B es una unidad inferior de pH que el agua del productor A, se necesita más de cuatro veces más ácido para bajar el pH a 5,8. Tanto la alcalinidad y el pH son importantes a considerar al tratar de ajustar el pH del agua, y ambos deben ser probados en la evaluación de la calidad de una fuente de agua (Reed, 1996).

La máxima alcalinidad que una planta puede tolerar depende de la especie, de la edad de la planta, del tipo de medio de cultivo utilizado (Whipker *et al.*, 1996), de la duración del ciclo de cultivo, y el volumen de los medios de cultivo y la capacidad búfer (Kessler, 1999).

## El Potasio en las Plantas

Marschner (1995) indica que el K es un macronutriente importante y el catión más abundante en las plantas superiores. Una concentración de K óptima es esencial para la síntesis de proteínas, la activación de enzimas y la fotosíntesis. El K tiene un papel importante en la osmorregulación durante la expansión celular, el movimiento y turgencia de los estomas.

El K es el catión más abundante en el citoplasma, junto con sus aniones acompañantes este nutriente hace una contribución principal al potencial osmótico de células y tejidos de especies vegetales glicofíticas (Marschner, 2002). El K mejora la calidad y duración del cultivo y también alivia las condiciones de estrés, además, es activador de muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis, respiración, síntesis de almidón, proteínas y está involucrado en el transporte de fotoasimilados (Swietlik, 2003). Asimismo, el K es un ión que desempeña un papel fundamental en la osmorregulación celular, y su deficiencia produce pérdida de turgencia y marchitamiento, más acentuado cuando hay déficit hídrico (Bonilla, 2000).

El K interviene en la absorción de otros nutrientes y el desplazamiento de los mismos dentro de la planta. Por ejemplo, K y  $\text{NO}_3$  pueden desplazarse juntos, el K también es importante en los procesos metabólicos que conducen a la formación de hidratos de carbono y proteínas (Thompson y Troeh, 2002).

Los tejidos de plantas deficientes de K exhiben mayor actividad de ciertas hidrolasas o de oxidasas, como la polifenol oxidasa, que la de tejidos de plantas normales (suficientes); así mismo, se da lugar a algunos cambios químicos importantes, incluyendo una acumulación de carbohidratos solubles, una disminución en el contenido de almidón y una acumulación de compuestos solubles de N (Marschner, 2002).

## El Calcio en las Plantas

El Ca es un nutrimento esencial para las plantas, este es adquirido de la solución del suelo por las raíces y transportado al tallo vía xilema. La raíz debe balancear la liberación de Ca al xilema con la necesidad de las células individuales de la raíz para usar el Ca citoplásmico en las señales intracelulares (White, 2001).

El Ca es un elemento asociado con el transporte de N y en la interacción K: P y su función primordial es dar firmeza y estabilidad a la pared celular a través de los pectatos de Ca (León, 1992); además, actúa como segundo mensajero en la regulación de una gran variedad de procesos fisiológicos y anatómicos. La regulación del Ca celular es una función esencial, realizado por un conjunto de procesos complejos colectivamente llamado homeostasis de Ca (Bush, 1995).

El Ca es un componente estructural de la pared celular y, por tanto, es vital para la formación de nuevas células. Por otra parte, el Ca se encuentra de tal manera integrado en la pared celular y no es posible utilizar el que poseen las células viejas para construir las nuevas. Las plantas deficientes de Ca son raquílicas porque producen menor número de células y éstas son más pequeñas; sus tallos son débiles debido a que el espesor de sus paredes celulares es inferior al normal (Thompson y Troeh, 2002).

La concentración de Ca en las plantas fluctúa entre 0.2 y 3.0 % del peso seco del tejido de la hoja. Encontrándose la concentración más alta en las hojas más viejas (Jones *et al.*, 1991).



# **MATERIALES Y MÉTODOS**

## **Localización y Características del Sitio Experimental**

El presente trabajo se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (número 2), localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila. El tipo de invernadero utilizado fue un túnel con dimensiones de 7 m de ancho y 30 m de largo, con estructura metálica y con cubierta de fibra de vidrio. El invernadero contó con una pared húmeda y dos extractores de aire de activación automática.

## **Establecimiento y Manejo del Experimento**

### **Material Vegetal**

Se utilizaron plántulas de Lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) de la variedad "Mariachi Blue". Una característica distintiva de esta variedad es que son las únicas que producen flores cuádruples, con abundantes pétalos y tallos fuertes para gustos extremadamente elegantes.

## Trasplante

El día 26 de marzo de 2011 se realizó el trasplante, utilizando plántulas de la variedad mencionada anteriormente de 6 cm de altura, el sustrato utilizado fueron bloques de lana roca (marca Grodan Classic), los cuales se humedecieron hasta llegar a capacidad de campo, posteriormente se trasplantaron, utilizando un marco de plantación de tres bolillos, con 12 plantas por bloque de lana roca.

## Descripción de los Tratamientos

En el experimento se evaluó la respuesta de las plantas a los niveles de Ca y niveles de alcalinidad causada por  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva. Los niveles de Ca y  $\text{HCO}_3^-$ , variaron de acuerdo a los seis tratamientos mostrados en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	$\text{HCO}_3^-$ (mM)	Ca (mM)
1	1	4
2	1	6
3	1	8
4	6	4
5	6	6
6	6	8

La concentración de los restantes elementos en la solución nutritiva fue de acuerdo a la fórmula propuesta por Hoagland, la cual contiene 15 mM de N, 1 mM de P, 6 mM de K, 4 mM de S, 0.5 ppm de Fe, 0.1 ppm de Zn, 0.01 ppm de Cu, 0.01 ppm de Mn, 0.01 ppm de B y 0.001 ppm de Mo.

El pH promedio de las soluciones nutritivas con 1 y 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$ , fueron 7.12 y 8.32 respectivamente, y una conductividad eléctrica promedio de 2.47 y 2.76  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente. Las soluciones se prepararon con las fuentes indicadas en el Cuadro 3.2, utilizando agua destilada.

Cuadro 3.2. Fertilizantes empleados para la preparación de las soluciones nutritivas.

Fuente	Concentración (%)	
Magnisal	18.9 N	16.2 Mg
Nitrato de Calcio	17 N	24 Ca
Nitrato de Potasio	12 N	46 K
Sulfato de Magnesio	36.4 Mg	21.2 S
Cloruro de Calcio	36.1 Ca	63.9 Cl
Bicarbonato de Potasio	61 $\text{HCO}_3^-$	39 K
Sulfato de Potasio	44.9 K	55.2 $\text{SO}_4$
Fosfato Dibásico de Potasio	22.7 P	28.7 K
Sulfato Ferroso	36.8 Fe	21.1 S
Sulfato de Zinc	40.5 Zn	19.8 S
Sulfato de Cobre	39.8 Cu	20.1 S
Ácido Bórico	55.85% $\text{BO}_3$	0.34% $\text{SO}_4$
Molibdato de Amonio	54% Mo	7% N

## **Aplicación de los Tratamientos**

El 18 de abril de 2011 se inició el riego (de forma manual) con los tratamientos antes mencionados, aplicando en promedio 5 L de solución por bloque de lana roca. La frecuencia de riego se definió de acuerdo a las necesidades de las plantas.

## **Variables Evaluadas**

La evaluación de las plantas se realizó del 17 de junio al 1 de julio de 2011, se tomaron las plantas de todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones.

En el presente trabajo se evaluó: 1) variables de crecimiento: altura de la planta, diámetro de tallo y flor, número de hojas y flores, peso seco de hoja, tallo y flor, peso seco total, y 2) análisis mineral de hojas (concentración de Ca, Fe, K, Mg, P y N).

Las variables evaluadas son presentadas a continuación:

- **Altura de la planta**

Las plantas se midieron desde la base del tallo hasta la parte más alta de la misma, esta medición se realizó a todas las plantas evaluadas en el trabajo, utilizando una cinta métrica.

- **Diámetro del tallo**

Para determinar el diámetro del tallo se utilizó un vernier digital, el cual se colocó en la base del tallo para tomar la lectura.

- **Diámetro de flor**

Se determinó el diámetro de flor tomando en cuenta la que estuviese más abierta, utilizando una cinta métrica.

- **Número de hojas**

Se retiraron las hojas del tallo y se procedió a contar todas las hojas de la planta.

- **Número de flores**

Se realizó el conteo tanto de flores abiertas y de botones florales más desarrollados por planta.

- **Peso seco hoja, tallo y flor**

Las muestras de peso seco se colocaron en bolsas de papel estraza y se llevaron a una estufa de secado a una temperatura constante de 70 °C por 24 horas, transcurrido dicho tiempo, se determinó el peso seco de todas las muestras mediante una báscula.

- **Peso seco total**

El peso seco total se determinó mediante la suma de los pesos secos de hoja, tallo y fruto tomado anteriormente.

- **Análisis mineral de hojas**

Se realizó un análisis mineral de N, P, Fe, K, Ca y Mg de hojas de las cuatro primeras plantas de cada bloque de lana de roca representativas de todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones, las cuales se lavaron con agua destilada y se pusieron en una estufa de secado a 70 °C por 24 horas, posteriormente las hojas se trituraron hasta que estuvieran en forma de polvo, tomando muestras representativas considerando todas las repeticiones de los tratamientos, enviadas al laboratorio del Colegio de Posgraduados para su respectivo análisis. El N se determinó por el método de Kjeldhal, mientras que los restantes elementos se determinaron mediante digestión ácida en el Analizador de Plasma Inductivamente Acoplado.

## Diseño Experimental y Modelo Estadístico

El experimento fue distribuido en un diseño de bloques al azar, se utilizaron seis tratamientos con tres repeticiones por tratamiento. Cada repetición consistió de un bloque de lana de roca con 12 plantas uniformemente distribuidas. El análisis de datos se realizó mediante un Anova y comparación múltiple de promedios de acuerdo a la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ) utilizando el programa estadístico SAS 9.0.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{iik}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ : Observación del  $i$ -ésimo nivel de alcalinidad,  $j$ -ésimo efecto del nivel de calcio, y  $k$  el error experimental.

$\mu$ = Media general

$\alpha_i$ = Efecto del tratamiento ( $i$ )

$\beta_j$ = Efecto de bloque ( $j$ )

$e_{iik}$ = Error experimental ( $ijk$ )

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Variables de Crecimiento

#### Altura de Planta

La alcalinidad óptima recomendada en el agua de riego fluctúa entre 0 y 2.6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  (Bierbaum, 1994). La máxima alcalinidad que una planta puede tolerar depende de la especie, edad y ciclo de la planta y el medio de cultivo utilizado (Whipker *et al.*, 1996). En el presente estudio el análisis de varianza en altura de planta indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.1 del apéndice). Con concentraciones de 4 mM de Ca y condiciones de baja alcalinidad, las plantas mostraron una mayor altura que aquellas tratadas con niveles elevados de alcalinidad, sin embargo, al elevarse la concentración de Ca, las plantas con alta alcalinidad mostraron un aumento en altura pero las tratadas con baja alcalinidad no mostraron una tendencia consistente (Fig. 4.1). Aunque no se detectó significancia estadística, a una concentración de 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con 8 mM de Ca se obtuvo una mayor altura de planta; con 6 mM de Ca a una concentración de 1 mM  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva se denotó la menor altura de planta (Fig. 4.1). Lo anterior sugiere que en el cv. Mariachi Blue un elevado nivel de  $\text{HCO}_3^-$  no disminuye la altura de planta si este se combina con una alta concentración de Ca.



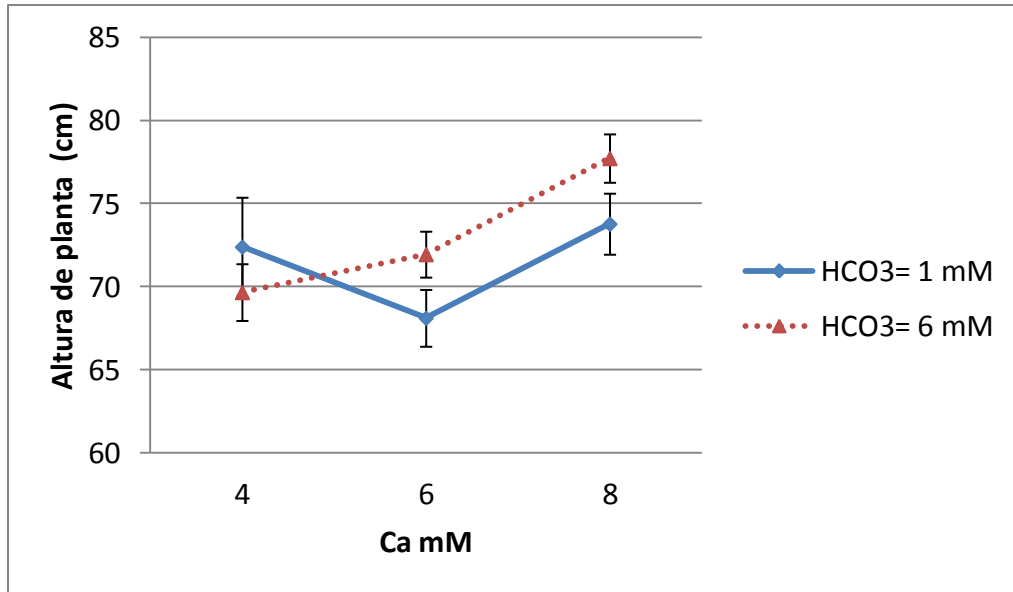


Figura 4.1. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en la altura de planta de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en crisantemo por Valdez-Aguilar (2004) quien menciona que la altura de planta no fue afectada significativamente por la concentración de  $\text{NaHCO}_3^-$ , lo cual se presentó en este estudio donde el grado de alcalinidad no afectó significativamente la altura de planta.

### Diámetro de Tallo

En lo que respecta a diámetro del tallo el análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.1 del apéndice), sin embargo, las plantas irrigadas a una concentración de 1 mM de  $\text{HCO}_3^-$  y 6 mM de Ca en la solución nutritiva numéricamente obtuvieron el mayor diámetro de tallo (Fig. 4.2).

En contraste, aquellas plantas irrigadas a un nivel de 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  independientemente de la concentración de Ca en la solución nutritiva, tuvieron el menor diámetro de tallo (Fig. 4.2). Lo anterior explica que una menor concentración de  $\text{HCO}_3^-$  es superior a una concentración mayor de  $\text{HCO}_3^-$  en diámetro de tallo cuando los niveles de Ca fueron de 6 y 8 mM.

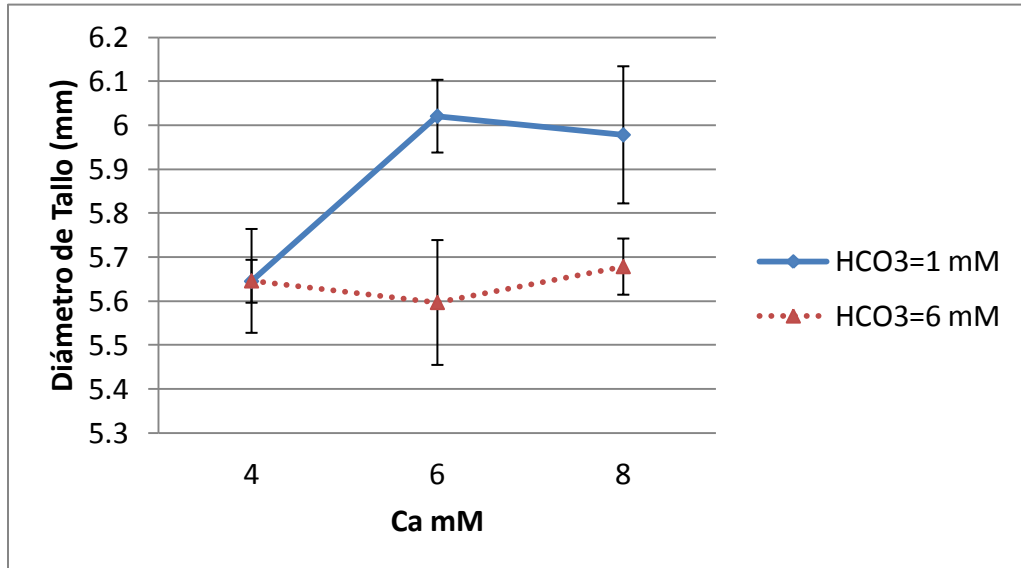


Figura 4.2. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en el diámetro de tallo de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

### Diámetro de Flor

El análisis de varianza aplicado a diámetro de flor al igual que en diámetro de tallo muestra que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.1 del apéndice). Sin embargo, un alto nivel de  $\text{HCO}_3^-$  con 8 mM de Ca en el agua de riego numéricamente presentó un mayor diámetro de flor, caso contrario, las plantas irrigadas con un nivel menor de  $\text{HCO}_3^-$  y 6 mM de Ca tuvieron el menor diámetro de flor (Fig. 4.3).

Lo anterior permite sugerir que el cv. Mariachi Blue tiene una respuesta favorable con un nivel alto de Ca a una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$ , por consiguiente, a niveles normales de Ca, la alcalinidad del agua de riego estuvo asociada con una disminución en el diámetro de flor, pero al elevarse la concentración de Ca a 6 mM en la solución nutritiva, el diámetro de flor fue recuperado comparado con el tratamiento testigo, e incluso superior con 8 mM de Ca (Fig. 4.3).

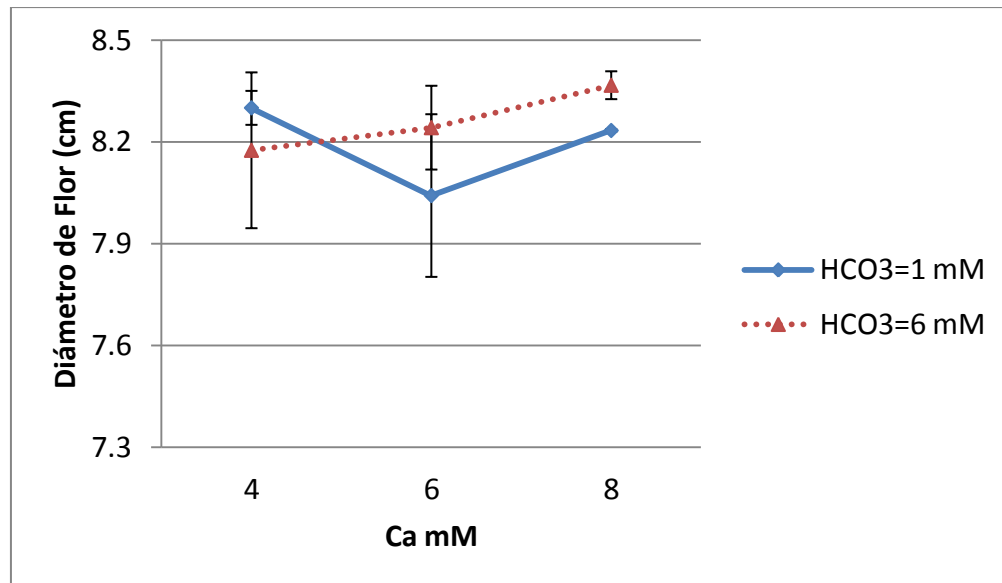


Figura 4.3. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en diámetro de flor de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

### Número de Hojas

La tasa de crecimiento de las hojas depende de la expansión de células jóvenes, las cuales son producidas por la división celular en los tejidos meristemáticos. De este modo, el bajo suministro de nutrientes podría afectar la tasa de crecimiento foliar por la inhibición de la tasa de producción y expansión de nuevas hojas (Neumann, 1997).

En lo correspondiente al número de hojas el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.1 del apéndice). Las plantas irrigadas conteniendo en la solución 1 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con 6 mM de Ca obtuvieron mayor número de hojas, lo cual podría traducirse a una mayor área foliar, por lo contrario, aquellas plantas irrigadas con una concentración mayor de  $\text{HCO}_3^-$  en los distintos niveles de Ca presentaron un menor número de hojas, lo cual pudo deberse a que estas plantas fueron sometidas a un mayor estrés alcalino (Fig. 4.4). Lo anterior permite sugerir que el cv. Mariachi Blue tiene un efecto favorable para esta respuesta con una concentración menor de  $\text{HCO}_3^-$ , lo cual es relevante debido a que por ser flor de corte, un mayor número de hojas resulta más atractivo para el mercado.

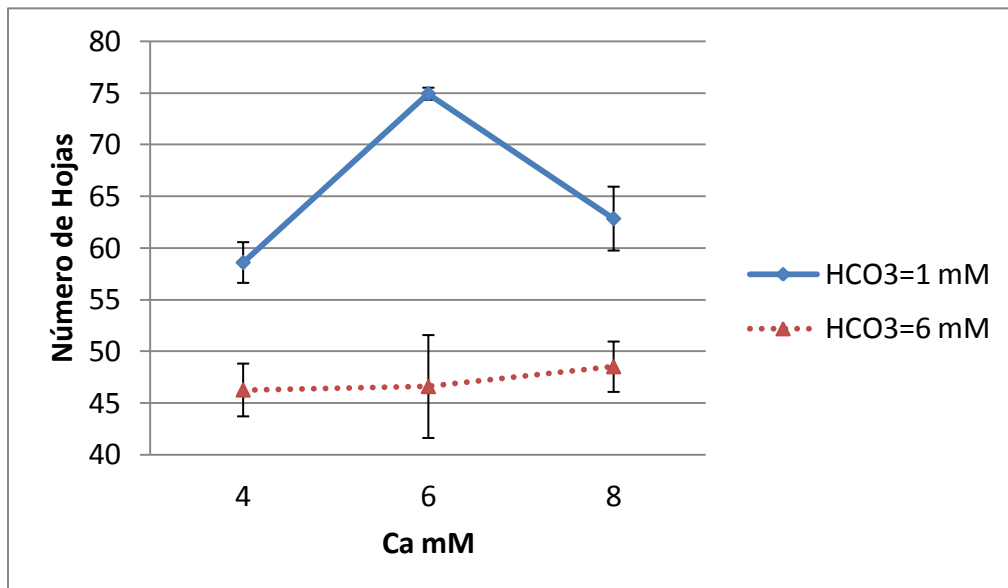


Figura 4.4. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en número de hojas de *Lisianthus* cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Los resultados coinciden con lo reportado en *Rosa multiflora* cv. Burr por Cartmill *et al.* (2007) quienes mencionan que un incremento en la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  reduce significativamente el número de hojas, lo cual se presentó en aquellas plantas irrigadas con una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$ .

## Número de flores

En número de flores el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.2 del apéndice), sin embargo, a una concentración baja de  $\text{HCO}_3^-$  con 6 mM de Ca en la solución nutritiva numéricamente se obtuvo un mayor número de flores, en contraste, a una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en los niveles de Ca (4,6 y 8 mM) se presenta una ligera disminución en el número de flores (Fig. 4.5). Lo anterior permite sugerir que el cv. Mariachi Blue tiene un efecto favorable en esta respuesta a una baja concentración de  $\text{HCO}_3^-$  con un nivel de 6 mM de Ca en el agua de riego, sin embargo, una concentración de 4 y 6 mM de Ca a un nivel elevado de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva permitió obtener casi el mismo número de flores con respecto a las plantas con el tratamiento testigo con baja alcalinidad y 4 mM de Ca.

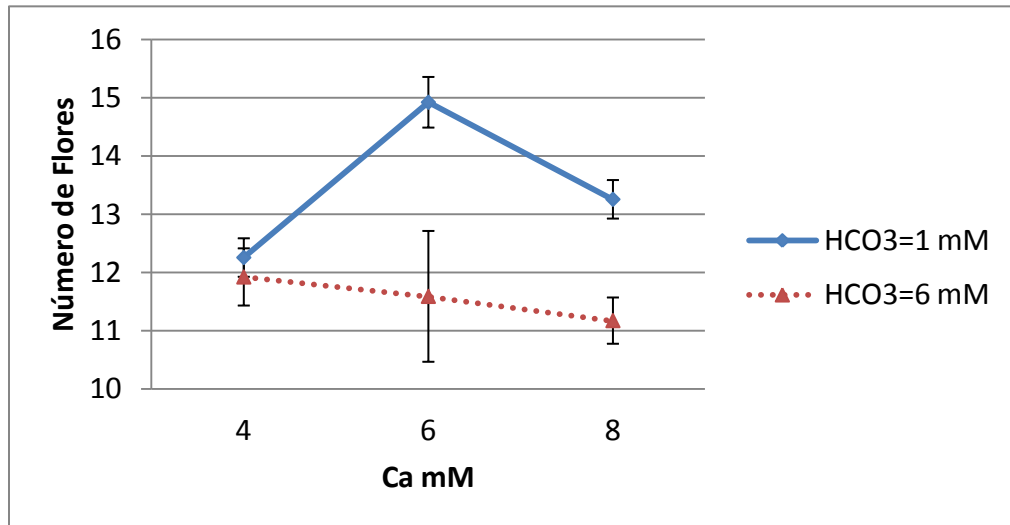


Figura 4.5. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en número de flores de *Lisianthus* cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Las plantas irrigadas a una concentración mayor de  $\text{HCO}_3^-$  con 8 mM de Ca tuvieron el menor número de flores, lo cual pudo deberse probablemente a que en estas plantas al mismo nivel de alcalinidad y Ca se obtuvo el mayor diámetro de flor, lo cual se tradujo a tener flores mas grandes aunque en menor cantidad.

Valdez-Aguilar (2004) reporta en rosa que una alta concentración de  $\text{NaHCO}_3^-$  (>7.5 mM) tuvo una disminución significativa en cuanto a número de flores, lo cual no coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio donde una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  no tuvo una disminución significativa en número de flores en comparación con las plantas que recibieron el tratamiento testigo.

### **Peso Seco de Hojas**

En el presente estudio no se detectó diferencias significativas entre tratamientos en el peso seco de hojas (Cuadro A.2 del apéndice). Las plantas irrigadas conteniendo en la solución 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  y 4 mM de Ca presentaron numéricamente el menor peso seco de hojas, caso contrario, aquellas plantas irrigadas conteniendo en la solución 6 mM de Ca a una concentración de 1 mM de  $\text{HCO}_3^-$ , presentaron numéricamente el mayor peso seco de hojas. Sin embargo, a una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  con 6 mM de Ca se tuvo un efecto similar en cuanto peso seco de hojas con respecto al tratamiento testigo (Fig. 4.6). Así también, tanto en una concentración alta como en una concentración baja de  $\text{HCO}_3^-$  con un nivel de 8 mM de Ca en el agua de riego, se tuvo un efecto similar en cuanto a peso seco de hojas (Fig. 4.6). Lo anterior sugiere que en el cv. Mariachi Blue se tiene un efecto favorable con respecto al testigo en esta respuesta a una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en si esta se combina con 6 mM de Ca en la solución nutritiva.

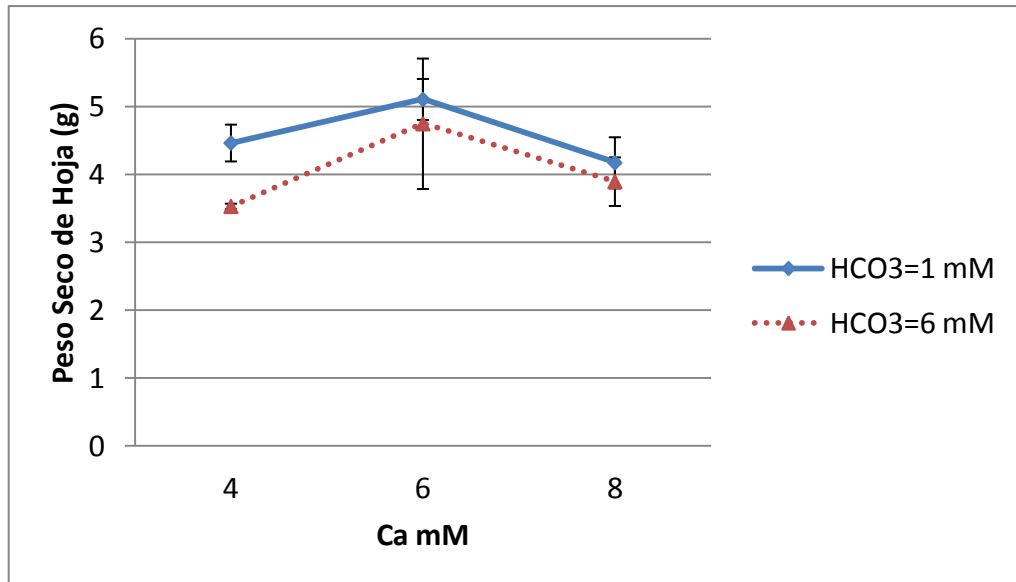


Figura 4.6. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco de hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Los resultados obtenidos en el presente estudio no coinciden con lo reportado en rosa por Valdez-Aguilar (2004) quien menciona que con una alta concentración de  $\text{NaHCO}_3^-$  tuvo una disminución significativa en peso seco de hojas, en el presente estudio se muestra que el grado de alcalinidad no tuvo afectación significativa en el peso seco de hojas.

### Peso Seco de Tallo

En peso seco de tallo no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.2 del apéndice). Las plantas irrigadas con una concentración de 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  tanto como en 1 mM de  $\text{HCO}_3^-$  en los distintos niveles de Ca (4, 6 y 8 mM), tuvieron el mismo comportamiento (Fig. 4.7).

Sin embargo, cabe recalcar que aquellas plantas irrigadas conteniendo en las soluciones 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con niveles de 4 y 6 mM de Ca en el agua de riego, tuvieron un mayor peso seco de hojas respecto al tratamiento testigo (Fig. 4.7). Lo anterior permite sugerir que el cv. Mariachi Blue tiene un efecto favorable en esta respuesta a un alto nivel de alcalinidad, siempre y cuando este se combine con un alto nivel de Ca (6 y 8 mM) en las soluciones nutritivas.

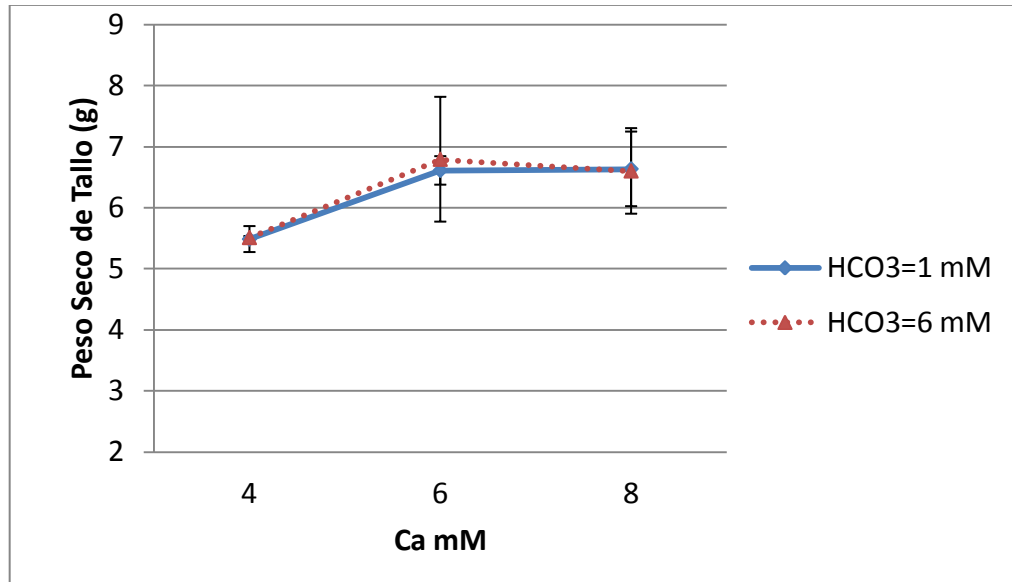


Figura 4.7. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco de tallo de *Lisianthus* cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

### Peso Seco de Flor

En peso seco de flor el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.2 del apéndice). Las plantas irrigadas conteniendo en las soluciones una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  con niveles de 4, 6 y 8 mM de Ca tuvieron un efecto favorable en peso seco de flor (Fig. 4.8), lo cual pudo deberse a que estas plantas presentaron un mayor diámetro de flor con excepción de 4 mM de Ca, aunque, como se mencionó anteriormente, estas plantas no tuvieron el mayor número de flores.



En contraste, aquellas plantas irrigadas con una baja concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en los distintos niveles de Ca el peso seco de flor fue menor, lo cual pudo deberse a que estas plantas presentaron un menor diámetro de flor a excepción de 4 mM de Ca (Fig. 4.8). Lo anterior permite sugerir que el cv. Mariachi Blue tuvo un efecto favorable en esta respuesta a un alto nivel de  $\text{HCO}_3^-$  debido a la alta concentración de Ca en las soluciones nutritivas, la cual probablemente permitió tener una mayor acumulación de peso seco de flor.

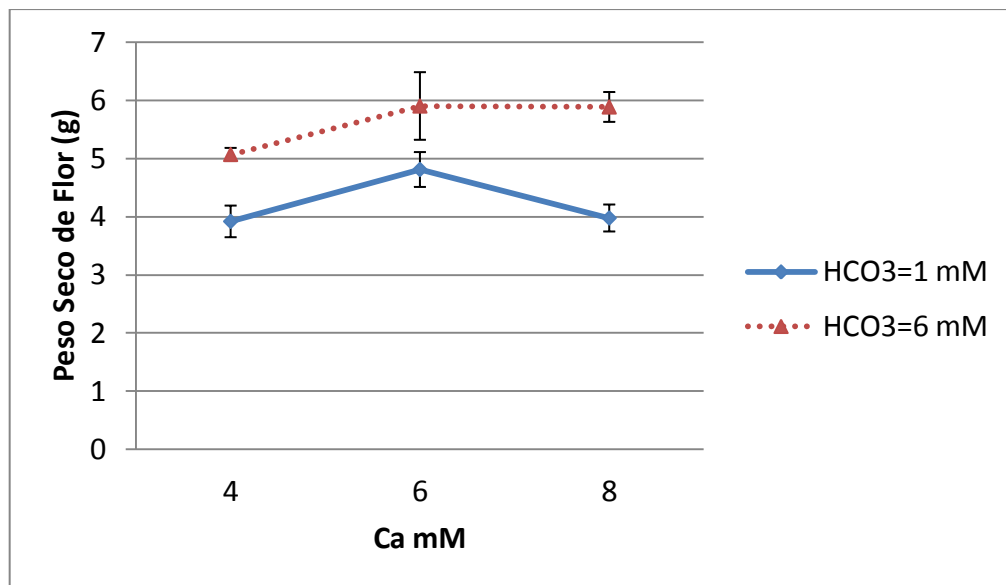


Figura 4.8. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco de flor de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

### Peso Seco Total

En peso seco total no hay diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro A.2 del apéndice). En general, bajo condiciones de alta alcalinidad, las plantas mostraron un mayor peso seco total que en aquellas tratadas con niveles bajos de alcalinidad, las plantas con alta alcalinidad mostraron un aumento en el peso seco total.

Numéricamente las plantas irrigadas con una concentración de 6 mM de Ca con 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  presentaron el mayor peso seco total, en contraste, las plantas irrigadas con una baja concentración de  $\text{HCO}_3^-$  se denotó un menor peso seco total (4 y 6 mM de Ca) (Fig. 4.9). Lo anterior sugiere que en el cv. Mariachi Blue con un elevado nivel de  $\text{HCO}_3^-$  no disminuye el peso seco total si este se combina con una alta concentración de Ca.

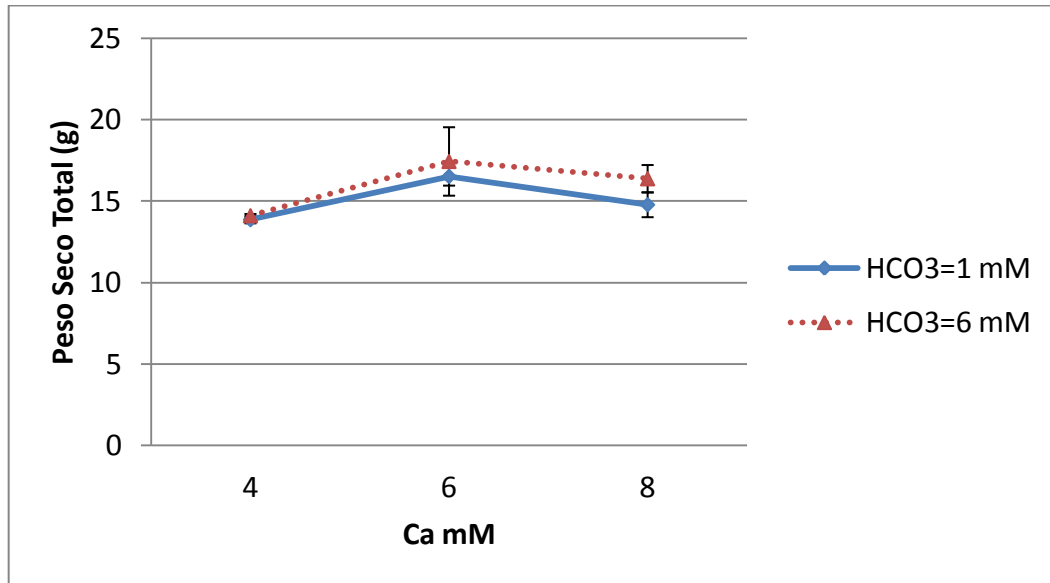


Figura 4.9. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en peso seco total de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Peterson y Kramer (1991) reportaron en crisantemo que un elevado nivel de  $\text{HCO}_3^-$  (8.2 mM) no tuvo efecto en peso seco, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio donde una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  no tuvo afectación significativa en peso seco total.

En general, considerando los niveles normales de Ca en la solución de Hoagland, el riego con alta alcalinidad causó una disminución en variables de crecimiento como diámetro de tallo, peso seco de hojas y número de hojas y flores, aunque esta disminución solamente fue significativa en número de hojas.

Sin embargo, en condiciones de alta alcalinidad la adición de Ca suplementario en la solución nutritiva se reflejó en un incremento en el peso seco de flor, el diámetro de flor y altura de la planta, lo que sugiere que concentraciones más elevadas de este nutrimento podrían conferir cierto grado de tolerancia al estrés por altos niveles de  $\text{HCO}_3^-$  en el agua de riego.

## **2. Análisis Mineral de Hojas**

### **Concentración Mineral de Ca de Hojas**

En la concentración mineral de Ca de las hojas se detectó que existen diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro A.3 del apéndice). Las plantas irrigadas con una concentración menor de  $\text{HCO}_3^-$  en los diferentes niveles de Ca (4, 6 y 8 mM) presentaron la mayor concentración mineral de Ca en las hojas, manifestándose a mayor manera con 6 mM de Ca (Fig. 4.10). En contraste, aquellas plantas irrigadas con una concentración mayor de  $\text{HCO}_3^-$  en los distintos niveles de Ca, la concentración mineral Ca de las hojas fue menor (Fig. 4.10). Lo anterior permite sugerir que en el cv. Mariachi Blue con una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  denotó un efecto desfavorable en esta respuesta, lo cual pudo deberse al alto grado de alcalinidad conllevando posiblemente a la obtención de una menor absorción de Ca por las raíces o una precipitación del Ca en la solución, viéndose reflejada en la concentración mineral de Ca de las hojas.

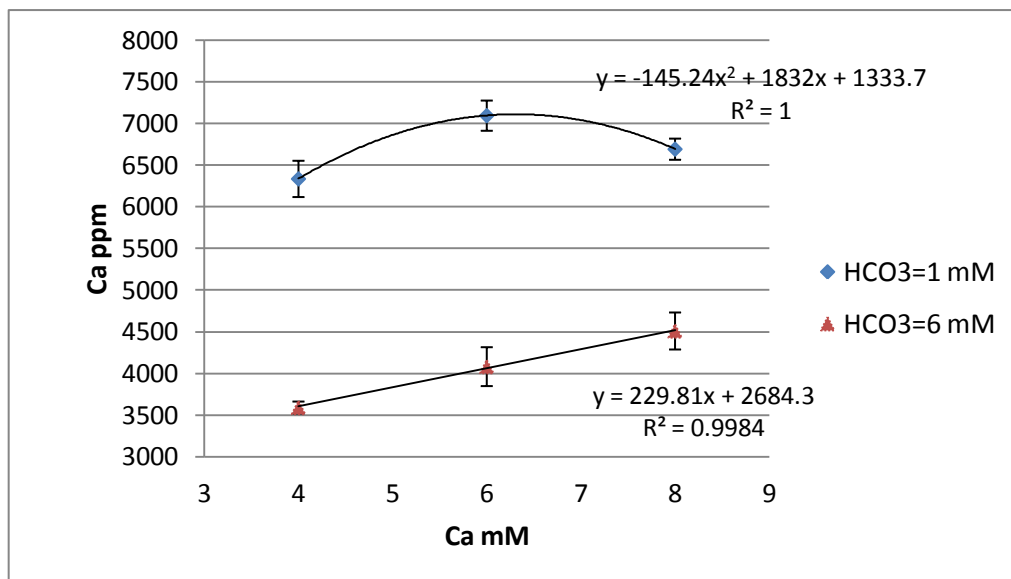


Figura 4.10. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de Ca en hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Los resultados coinciden con los reportados en vinca por Cartmill *et al.* (2008), quienes mencionan que un incremento en la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  disminuye la concentración mineral de Ca de las hojas. Sin embargo, a pesar de esta disminución en la concentración foliar de Ca bajo altos niveles de alcalinidad, el suplemento de más Ca en la solución nutritiva permitió elevar los niveles en las hojas (Fig. 4.10), lo que de alguna manera disminuye el grado de deficiencia de este nutrimento.

### Concentración Mineral de Fe de Hojas

La alcalinidad induce clorosis de las hojas jóvenes, la cual se ha atribuido a una deficiencia Fe debido a la disminución de la absorción (Bertoni *et al.*, 1992) y/o la disponibilidad de Fe. La alcalinidad reduce la solubilidad del Fe en valores altos de pH, ya que el Fe forma hidróxidos u otros compuestos insolubles (De la Guardia y Alcántara, 2002).

En el presente estudio el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos en la concentración mineral de Fe de las hojas (Cuadro A.3 del apéndice). Las plantas irrigadas conteniendo en la solución nutritiva una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  con los distintos niveles de Ca (4, 6 y 8 mM) presentaron un efecto desfavorable en la concentración mineral de Fe de las hojas (Fig. 4.11), lo cual pudo deberse a que la solubilidad del Fe se redujo a causa del nivel de alcalinidad. El  $\text{HCO}_3^-$  puede causar una precipitación interna de Fe en los tejidos vegetales, lo que hace inactivo al Fe en las raíces debido a la alcalinización del tejido (Römheld, 2000). Por lo contrario, las plantas irrigadas con una concentración de 1 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con 8 mM de Ca tuvieron la mayor concentración mineral de Fe de las hojas (Fig. 4.11). Lo anterior pudo deberse a que una alta concentración de Ca en la solución nutritiva favoreció a una mayor disponibilidad de Fe para las plantas y por consiguiente, esta se vio reflejada en una mayor concentración mineral de Fe de las hojas.

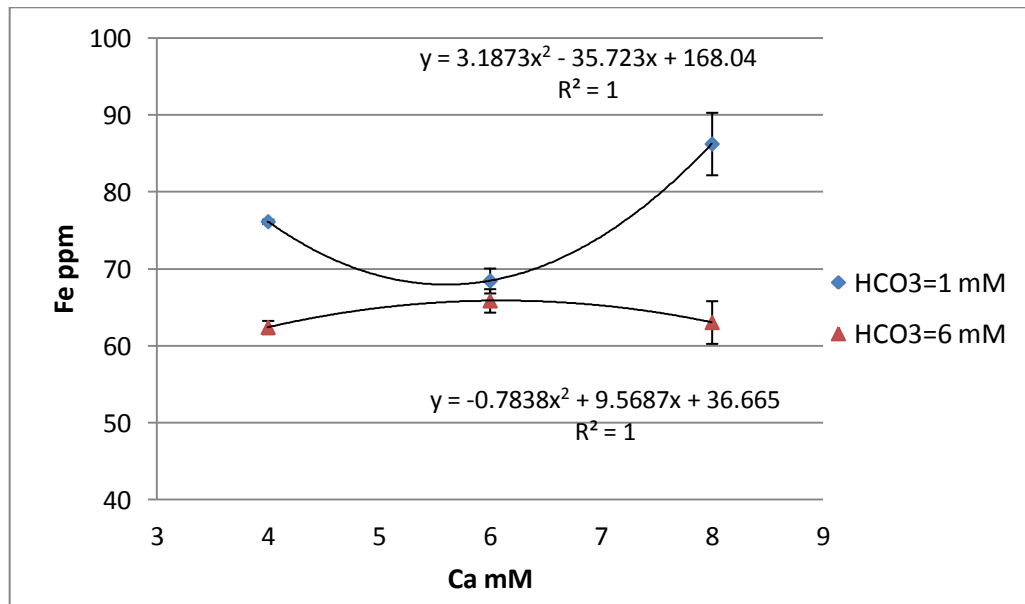


Figura 4.11. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de Fe en hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Cabe mencionar que a pesar, de que las plantas irrigadas con una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  presentaron una disminución en la concentración mineral de Fe de las hojas con respecto a una baja concentración de  $\text{HCO}_3^-$ , estas plantas no presentaron clorosis en las hojas, lo que sugiere que *lisianthus* cuenta con mecanismos que permiten asimilarlo a pesar de una alta alcalinidad.

Cartmill *et al.* (2007) reportaron en *Rosa multiflora* cv. Burr que un incremento en la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  reduce significativamente la concentración mineral de Fe de las hojas, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  denotó la menor concentración mineral de Fe de las hojas.

### **Concentración Mineral de K de Hojas**

En lo que respecta a la concentración mineral de K de las hojas, el análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro A.3 del apéndice). Las plantas irrigadas con una concentración baja de  $\text{HCO}_3^-$  en los niveles de 6 y 8 mM Ca tuvieron la mayor concentración mineral de K de las hojas (Fig. 4.12). Sin embargo, aquellas plantas irrigadas con una concentración de 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con 6 mM de Ca en la solución nutritiva presentaron una mayor concentración mineral de K de las hojas con respecto al tratamiento testigo, lo que sugiere que altos niveles de Ca bajo condiciones de alta alcalinidad mejora la asimilación de K en *lisianthus*. Una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  presentó la menor concentración mineral de K de las hojas, en niveles de 4 y 8 mM de Ca (Fig. 4.12).

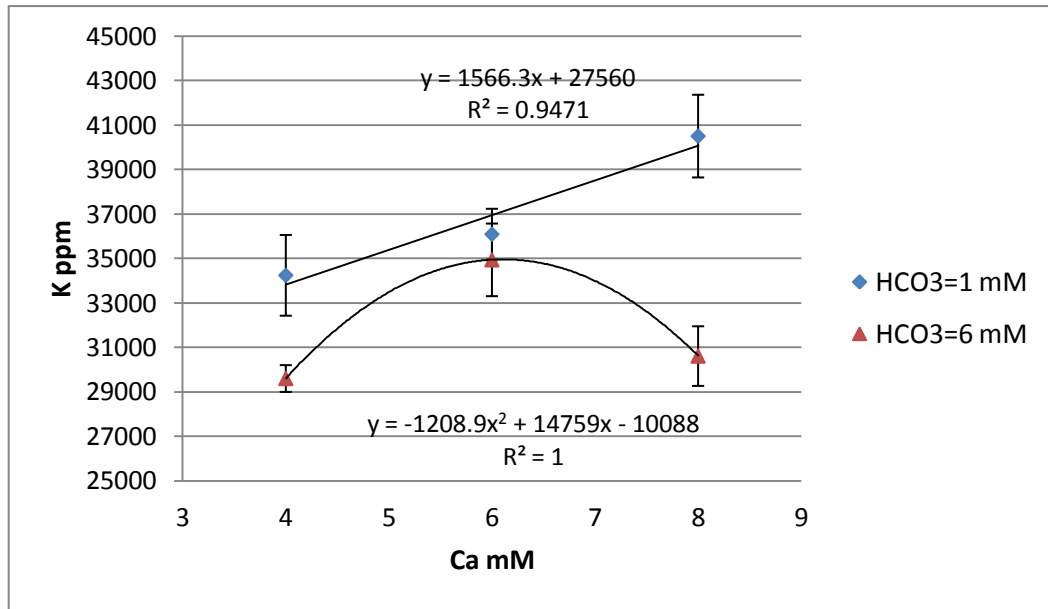


Figura 4.12. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de K en hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Cartmill *et al.* (2008) mencionan en vinca que un incremento en la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aumentó significativamente la concentración de K de las hojas, los resultados del presente trabajo no coinciden debido a que un alto nivel de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> con excepción de 6 mM en el agua de riego, se produjo una reducción en la concentración mineral de K de las hojas.

### Concentración Mineral de Mg de Hojas

En la concentración mineral de Mg de las hojas, el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas en los tratamientos (Cuadro A.3 del apéndice). Las plantas irrigadas con una baja concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en los distintos niveles de Ca (4, 6 y 8 mM) numéricamente presentaron una mayor concentración mineral de Mg de las hojas, manifestándose a mayor manera con 4 mM de Ca (Fig. 4.13).

En contraste, aquellas plantas irrigadas con un nivel alto de  $\text{HCO}_3^-$  presentaron numéricamente una menor concentración mineral de Mg de las hojas, presentando un comportamiento uniforme en los distintos niveles de Ca (Fig. 4.13). Lo anterior sugiere que en el cv. Mariachi Blue no se tuvo afectación significativa por el nivel de alcalinidad en cuanto a la concentración mineral de Mg de las hojas.

Los resultados del presente estudio no coinciden con los reportados en vinca por Cartmill *et al.* (2008), quienes mencionan que un incremento en la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  disminuye la concentración mineral de Mg de las hojas, en el presente estudio se muestra que el grado de alcalinidad no tiene afectación significativa en concentración mineral de Mg de las hojas.

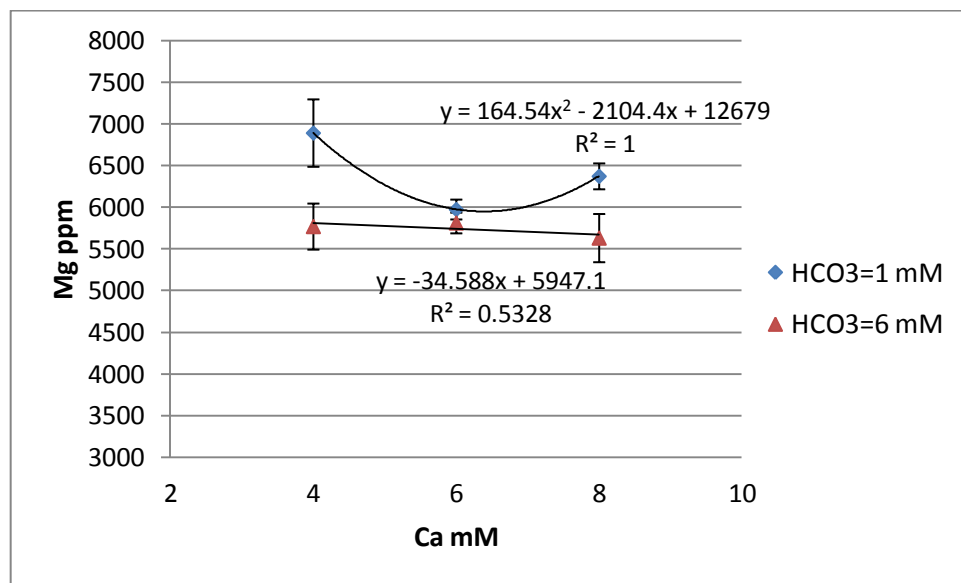


Figura 4.13. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de Mg en hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.



## Concentración Mineral de P de Hojas

En la concentración mineral de P de las hojas el análisis de varianza indica que hay diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro A.3 del apéndice). Las plantas irrigadas a una concentración de 1 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con 4 mM de Ca en la solución nutritiva presentaron una mayor concentración de P de las hojas (Fig. 4.14). En contraste, aquellas plantas irrigadas con una concentración mayor de  $\text{HCO}_3^-$  con 8 mM de Ca en la solución nutritiva se tuvo una menor concentración mineral de P de las hojas (Fig. 4.14). Lo anterior explica que en el cv. Mariachi Blue se tuvo un efecto desfavorable en esta respuesta a causa de un alto nivel de alcalinidad, lo cual pudo ser debido a que las plantas tratadas con este nivel de alcalinidad tuvieron una menor extrusión de  $\text{H}^+$  y por consiguiente, presentaron una menor absorción de P, viéndose reflejado en la concentración mineral de P de las hojas.

La absorción de  $\text{H}^+$  de la solución causa un aumento en el pH del medio de cultivo (Marschner, 1995). El aumento en la absorción de P puede resultar de la mayor extrusión de  $\text{H}^+$  en las raíces con el fin de mantener la neutralidad electroquímica causada por una mayor absorción de catión-anión (McCallister *et al.*, 1989). Lo anterior, pudo haberse presentado en este trabajo en aquellas plantas irrigadas con una baja concentración de  $\text{HCO}_3^-$  debido a que estas plantas presentaron una mayor concentración mineral de P en las hojas.

La mayor concentración mineral de P de las hojas en plantas sometidas a una baja concentración de  $\text{HCO}_3^-$ , posiblemente fue a causa de una mayor extrusión de  $\text{H}^+$  en las raíces, lo cual les permitió tener una mayor absorción P, viéndose reflejada en el concentración mineral de las hojas de dicho elemento.

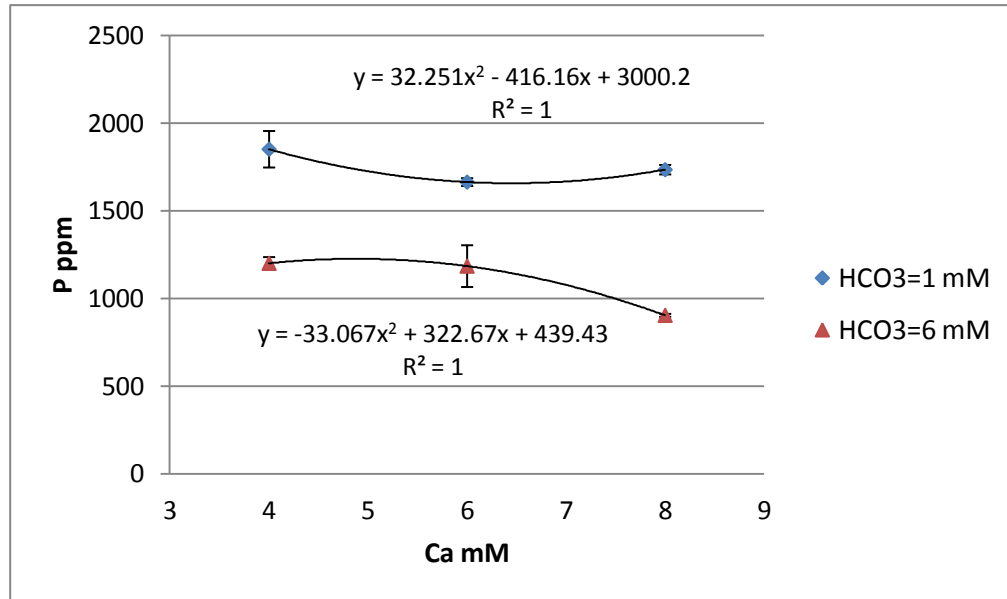


Figura 4.14. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de P en hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Cartmill *et al.* (2008) mencionan que en vinca, la concentración de P de la hoja no fue afectada por el aumento del pH asociado con altas concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$ , lo cual no coincide con los resultados del presente estudio donde se muestra que a una mayor concentración  $\text{HCO}_3^-$  la concentración mineral de P de las hojas fue afectada.

### Concentración Mineral de N de Hojas

En la concentración mineral de N de las hojas, el análisis de varianza indica que no hay diferencias significativas en los tratamientos (Cuadro A.3 del apéndice). Las plantas irrigadas con una concentración de 6 mM de  $\text{HCO}_3^-$  con 8 mM de Ca numéricamente presentaron una mayor concentración mineral de N de las hojas en comparación al tratamiento testigo (Fig. 15).

Las plantas irrigadas con una menor concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en los distintos niveles de Ca (4, 6 y 8 mM) denotaron una menor concentración mineral de N de las hojas, siendo a mayor manera a un nivel de 8 mM de Ca (Fig. 15).

En el presente estudio, la actividad de la nitrato reductasa no se vio afectada significativamente por una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  cuando esta se combinó con 8 mM de Ca en el agua de riego, lo cual permite sugerir que el cv. Mariachi Blue fue capaz de mantener la reducción de nitrato a pesar del alto nivel de alcalinidad, lo cual permitió tener la mayor concentración mineral de N de las hojas.

Kumar *et al.* (2003) mencionan que en trigo bajo condiciones de riego, la disminución en la actividad de la nitrato reductasa en las hojas de plantas de trigo irrigadas con agua de alta alcalinidad, pudo ser debida a una alteración del metabolismo de N lo que condujo a una disminución de la concentración N de las hojas, aunque, en variedades de trigo tolerantes a la alcalinidad no hubo ningún cambio en la actividad de nitrato reductasa.

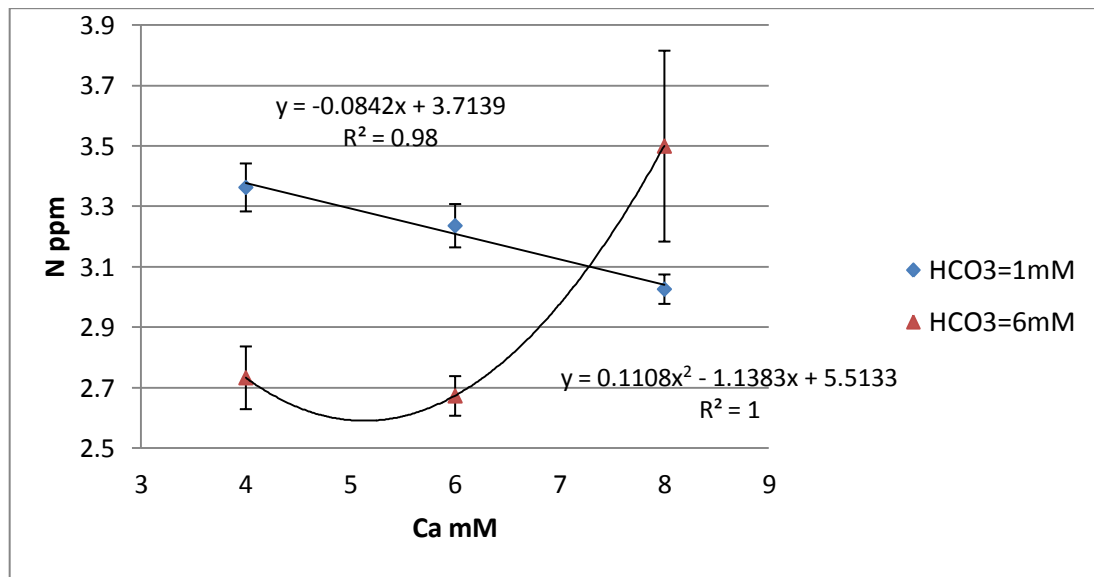


Figura 4.15. Interacción entre la concentración del Ca y la alcalinidad en el agua de riego en contenido mineral de N en hojas de Lisianthus cv. Mariachi Blue, cultivado en lana de roca.

Cartmill *et al.* (2007) reportaron en *Rosa multiflora* cv. Burr que un incremento en la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  reduce significativamente la concentración mineral de N de las hojas, lo cual no coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  no tuvo efecto significativo en la concentración mineral de N de las hojas, aunque numéricamente con una alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  combinada con una alta concentración de Ca en el agua de riego denotó una mayor concentración mineral de N de las hojas.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos e hipótesis en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

El crecimiento de las plantas de lisianthus no fue afectado significativamente por efecto del grado de la alcalinidad por  $\text{HCO}_3^-$ , con excepción de número de hojas, lo que sugiere que el lisianthus es tolerante a los niveles aplicados en este estudio. En peso seco de flor a una alta concentración de alcalinidad se tuvo efecto favorable cuando esta se combinó con una alta concentración de Ca (6 y 8 mM).

La concentración mineral de Ca, Fe, K y P de las hojas fue afectada significativamente por efecto del grado de alcalinidad (6 mM de  $\text{HCO}_3^-$ ). El nivel de alcalinidad en la solución nutritiva no tuvo afectación significativa en la concentración mineral de Mg y N de las hojas.

El cultivo de lisianthus se puede cultivar en condiciones de 6 mM  $\text{HCO}_3^-$ , lo cual permitiría producir esta planta ornamental en regiones que cuentan con agua de calidad baja.

## LITERATURA CITADA

- Alcántara, E.; Romera, F. J. and de la Guardia, M. D. 1988. Genotypic differences in bicarbonate-induced iron chlorosis in sunflower. *Journal of Plant Nutrition* 11: 65-67.
- Alhendawi, R. A.; Römheld V.; Kirkby, E. A. and Marschner, H. 1997. Influence of increasing bicarbonate concentrations on plant growth, organic acid accumulation in roots and iron uptake by barley, sorghum and maize. *Journal of Plant Nutrition* 20: 1731-1753.
- Assadian, N. W.; Esparza, L. C.; Fenn, L. B.; Ali, A. S.; Miyamoto, S.; Figueroa, V. U. and Warrick, A. W. 1998. Spatial variability of heavy metals in irrigated alfalfa fields in the upper Rio Grande River basin. *Agricultural Water Management* 36: 141-156.
- Bavaresco, L.; Giachino, E. and Colla, R. 1999. Iron chlorosis paradox in grapevine. *Journal of Plant Nutrition* 22: 1589-1597.
- Barber, S. A. 1995. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. 2nd. edition. John Wiley and Sons, New York.
- Bailey, D. A. 1996. Alkalinity and acidification. In: Reed, D.Wm. (Ed.). *Water, media and nutrition*. Ball Publishing, Batavia, IL. P. 69-91.
- Bailey, L. H. 1950. *Eustoma*. In: *The standard encyclopedia of horticulture*. McMillan. New York. 1176 p.
- .

- Bertoni, G. M.; Pissaloux, A.; Morad, P. and Sayag, D. R. 1992. Bicarbonate-pH relationship with iron chlorosis in white lupine. *Journal of Plant Nutrition* 15: 1509–1518.
- Bialczyk, J.; Lechowski, Z. and Libik, A. 1994. Growth of tomato seedlings under different HCO<sub>3</sub>-concentration in the medium. *Journal of Plant Nutrition* 17: 801-816.
- Bierbaum, J. 1994. A delicate balance. *Greenhouse Grower* 12: 88-94.
- Bingham, I. J. and Stevenson, E. A. 1993. Control of root growth: effects of carbohydrates on the extension, branching, and rate of respiration of different fractions of wheat roots. *Physiologia Plantarum* 88:149-158.
- Bonilla, I. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. pp: 103-141. *In: Azcón-Bieto, J. y Talón M. (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.*
- Bush, D. S. 1995. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 46: 95-122.
- Cartmill, A. D.; Alarcón, A. and Valdez, A. L. A. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of *Rosa multiflora* cv. Burr to bicarbonate in irrigation water. *Journal of Plant Nutrition* 30: 1517-1540.
- Cartmill, A. D.; Valdez A. L. A.; Bryan, D. L. and Alarcón, A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of vinca to high alkalinity in irrigation water. *Scientia Horticulturae* 115: 275-284.
- Cepeda, D. J. M. 2007. Química de suelos. 2ª Ed. Trillas. 106, 107 y 144 pp.

- De la Guardia, M. D. and Alcántara, E. 2002. Bicarbonate and low iron level increase root to total plant weight ratio in olive and peach rootstock. *Journal of Plant Nutrition* 25: 1021–1032.
- Halevy A. and Kofranek A. M. 1984. Evaluation of lisianthus as a new flower crop. *Hort. Science* 19: 845-847.
- Handreck, K. and Black, N. 2002. Growing media for ornamental plants and turf. UNSW Press, Sydney, Australia.
- Harbaugh, B. 1992. Resetting of lisianthus cultivars exposed to high temperature. *Hort. Science* 27 (8): 885-887.
- Jones, J. B. Jr.; Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Publishing. Athens, GA, USA. 213 p.
- Kessler, J. R. 1999. Water quality management for greenhouse production. ANR-1158. Auburn, Alabama: Alabama Cooperative Extension System.
- Kuehny, J. S. and Morales, B. 1998. Effects of salinity and alkalinity on pansy and impatiens in three different growing media. *Journal of Plant Nutrition* 21:1011-1023.
- Kumar, V.; Yadav, R. M.; Pandey, S. K. and Yadav, R. S. 2003. Effect of alkalinity on nitrate reductase activity, chlorophyll and proline accumulation in leaves of wheat varieties. *Indian J. Agric. Biochem.* 16: 99–102.
- Larcher, W. 1975. *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag, Berlin-Heilderberg, New York.



- León, A. R. 1992. Nueva edafología. Regiones tropicales y áreas templadas de México. Características y propiedades de los terrenos y su influencia agrícola. Distribuciones Fortamara, S.A. 351 p.
- Lindsay, W. L. 1979. Chemical equilibria in soils. The Blackburn Press, Caldwell, NJ.
- Lucena, J. L. 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *Journal of Plant Nutrition* 23: 1591-1606.
- Lunt, O. R.; Kohl, H. C. and Kofranek, A. M. 1956. The effect of bicarbonate and other constituents of irrigation water on the growth of azaleas. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 68: 537-544.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press London, England. pp: 447-542,889.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- McCallister, D. L.; Wiese, R. A. and Soleman, N. J. 1989. Effect of potassium salts on alleviation of lime-induced chlorosis in soybean. *Journal of Plant Nutrition* 12: 1153-1174.
- McCray, J. M. and Matocha, J. E. 1992. Effects of soil water levels on solution bicarbonate, chlorosis and growth of sorghum. *Journal of Plant Nutrition* 15: 1877-1890.
- Melgares de Aguilar, C. J. 1996. El cultivo del lisianthus. *Horticultura. I Parte* 113: 13-16.

- Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ* 20: 1193-1198.
- Pearce, R. C.; Li, Y. and Bush, L. P. 1999. Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of burley tobacco seedlings: hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition* 22: 1069-1078.
- Petersen, F.H. 1996. Water testing and interpretation. p. 31-49. In: Reed, D.Wm. (Editor). *Water, media and nutrition*. Ball Publishing, Batavia, IL.
- Peterson, J. C. and Kramer, L. L. 1991. Water quality. p. 31-33. In: *Tips on growing zonal geraniums*. Ohio Florists' Association, Columbus, OH.
- Qi, J.; Marshall, J. D. and Mattson, K. G. 1994. High soil carbon dioxide concentrations inhibit root respiration in Douglas fir. *New Phytologist* 128: 435-442.
- Reed, D. W. 1996. A grower's to water, media, and nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing. Batavia, Illinois, USA. pp: 69, 73, 76 y 77.
- Römheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. *J. Plant Nutr.* 23: 1629–1643.
- Singer, M. J. and Munns, D. N. 1991. *Soils an introduction*. 2nd. Ed. Macmillan Publishing Company, New York. pp: 272-273.
- Swietlik, D. 2003. Plant nutrition. pp. 251-257. In: Baugher, T.A. y Singha S. (eds.). *Concise encyclopedia of temperate tree fruit*. Food Product Press, New York, NY.
- Takkar, P. N.; Ulrich, B. and Meiwes, K. J. 1987. Method for estimation of CO<sub>2</sub> (aq) plus H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> and pH in soil solutions collected under field conditions. *Z. Pflanzenernähr* 150: 319-326.

- Thompson, L. M. and Troeh, F. R. 2002. Los suelos y su fertilidad. 4<sup>a</sup> ed. Reverté, S.A. pp: 247, 248, 375 y 392.
- Traina, S. J. and Laperche, V. 1999. Contaminant bioavailability in soils, sediments, and aquatic environments. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 96: 3365-3371.
- Torres, B. C. 2010. Lisianthus: alternativa de negocio florícola. El porvenir. Disponible en: [www.elporvenir.com.mx](http://www.elporvenir.com.mx).
- Valdez, A. L. A. 2004. Effect of alkalinity in irrigation water on select greenhouse crops. Dissertation. Texas A&M University.
- Vidalie, H. 1992. Producción de flores y plantas ornamentales. Madrid, Mundi Prensa. 310 p.
- Whipker, B. E.; Bailey, D. A.; Nelson, P. V.; Fonteno, W. C., and Hammer, P. A. 1996. A novel approach to calculate acid additions for alkalinity control in greenhouse irrigation water. Communications in Soil Science and Plant Analysis 27: 959–976.
- White, P. J. 2001. The pathways of calcium movement to the xylem. J. Exp. Bot. 52: 891-89.
- Yang, X.; Römheld V. and Marschner H. 1993. Effect of bicarbonate and root zone temperature on uptake of Zn, Fe, Mn and Cu by different rice cultivars (*Oryza sativa* L.) grown in calcareous soil. Plant and Soil 155/156: 441-444.

# APÉNDICE

Cuadro A.1. Comparación de medias (de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan,  $p \leq 0.5$ ) y Anova de altura de planta, diámetro de tallo y flor y número de hojas de plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivado en lana roca.

HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Ca	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Diámetro de flor(cm)	Numero de hojas
1	4	72.40	5.645	8.30	58.53 b
1	6	68.12	6.0208	8.04	74.92 a
1	8	73.78	5.9783	8.23	62.83 ab
6	4	69.67	5.6458	8.18	46.25 b
6	6	71.95	5.5967	8.24	46.58 b
6	8	77.73	5.6783	8.37	48.50 b
Anova		n.s	n.s	n.s	**

ns= no significativo \* = Significativo al 0.05 \*\* = Significativo al 0.01

\*\*\* = Significativo al 0.001

Cuadro A.2. Comparación de medias (de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan,  $p \leq 0.5$ ) y Anova de número de flores, peso seco de hoja, tallo y flor y peso seco total de plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivado en lana roca.

HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Ca	Número de flores	Peso seco de hoja	Peso seco de tallo	Peso seco de flor	Peso seco total
1	4	12.25 ab	4.47	5.483	3.9167 b	13.867
1	6	14.92 a	5.11	6.608	4.81 ab	16.525
1	8	13.25 ab	4.175	6.633	3.98 b	14.783
6	4	11.92 ab	3.533	5.508	5.07 ab	14.108
6	6	11.58 ab	4.75	6.792	5.90 a	17.442
6	8	11.17 b	3.897	6.6	5.88 a	16.381
Anova		n.s	n.s	n.s	*	n.s

ns= no significativo \* = Significativo al 0.05 \*\* = Significativo al 0.01

\*\*\* = Significativo al 0.001

Cuadro A.3 Comparación de medias (de acuerdo a la prueba múltiple de Duncan,  $p \leq 0.5$ ) y Anova sobre contenido mineral de hojas de *lisianthus* cv. Mariachi Blue cultivado en lana roca.

HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Ca	Ca	Fe	K	Mg	P	N
1	4	6338.1 a	76.15 ab	34252 ab	6893.9	1851.6 a	3.36
1	6	7097.3 a	68.45 b	36103 ab	5976.0	1664.3 a	3.24
1	8	6694.7 a	86.25 b	40517 a	6374.5	1735.0 a	3.03
6	4	3593.1 b	62.40 b	29608 b	5771.3	1185.0 b	2.73
6	6	4084.2 b	65.86 b	34949 ab	5814.4	1201.0 b	2.67
6	8	4512.3 b	63.05 b	30618 b	5633.0	904.5 b	3.5
Anova		***	*	*	n.s	**	n.s

ns= no significativo \* = Significativo al 0.05 \*\* = Significativo al 0.01

\*\*\* = Significativo al 0.001