



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA

SUSTENTABLE

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA NUTRICIÓN DE HELICONIAS A TRAVÉS DE ELEMENTOS BENÉFICOS

CASILDO CUACUA TEMIZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

2015

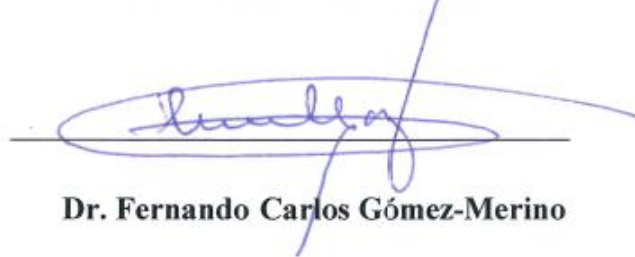
**INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA NUTRICIÓN DE HELICONIAS A
TRAVÉS DE ELEMENTOS BENÉFICOS**

La presente tesis titulada: “**Innovaciones Tecnológicas en la Nutrición de Heliconias a través de Elementos Benéficos**” realizada por el alumno: **Casildo Cuacua Temiz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. Fernando Carlos Gómez-Merino

ASESORA:



Dra. Libia Iris Trejo-Téllez

ASESOR:



Dr. Joel Velasco-Velasco

Amatlán de los Reyes, Veracruz. Diciembre de 2015

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN LA NUTRICIÓN DE HELICONIAS A TRAVÉS DE ELEMENTOS BENÉFICOS

Casildo Cuacua Temiz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Dentro de la familia Heliconiaceae de las Zingiberales, las heliconias constituyen el único género, *Heliconia*. La producción de heliconias es principalmente con fines ornamentales, y sobre su manejo agronómico se conoce muy poco. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los elementos benéficos aluminio (Al), cobalto (Co), selenio (Se) y silicio (Si) en el crecimiento y concentración de nutrimentos en diferentes tejidos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian en un sistema de producción hidropónico en invernadero, utilizando la solución de Steiner para el abastecimiento de los nutrimentos esenciales. Las concentraciones micromolares de elementos benéficos en la solución nutritiva se describen en seguida. Para Al: 0, 10, 30 y 50; Co: 0.0, 0.75, 1.5 y 2.25; Se: 0, 5, 15 y 25; y Si: 0.0, 0.5, 1.0 y 1.5. Para cada elemento, el diseño consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos y 7 repeticiones. La unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno de 20 x 25 cm con 3 kg de tezontle rojo como sustrato, y dos rizomas en cada bolsa. El experimento duró 12 semanas, y al final, las plantas fueron cosechadas y divididas en hojas, tallos y raíces para posteriores análisis. Los resultados indican que los cuatro elementos benéficos estudiados no afectaron indicadores de crecimiento de esta especie. En cambio, su efecto fue más evidente sobre el estado nutrimental de las plantas, ya que su aplicación en la solución nutritiva modificó las concentraciones de algunos nutrimentos esenciales en forma diferencial entre tejidos analizados. De forma particular, el aluminio incrementó la concentración de P, Fe, Cu, B y Mn principalmente en hojas. El cobalto aumentó la concentración de Ca y Cu en hoja, así como Fe y Mn en tallo. Respecto al selenio, su aplicación acrecentó la concentración de K y Mn en hoja. Finalmente, el silicio incrementó la concentración de Fe y Cu en hoja, y Fe en tallo. Se concluye que la aplicación de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si no modifican el crecimiento, y repercute significativamente en las concentraciones nutrimentales en tejidos.

Palabras clave: Elemento benéfico, Heliconiaceae, nutrición, Al, Co, Se, Si

TECHNOLOGICAL INNOVATIONS OF HELICONIA NUTRITION THROUGH BENEFICIAL ELEMENTS

Casildo Cuacua Temiz, M. Sc.
Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Among the Heliconiaceae family of the Zingiberales order, heliconias represent a sole genus, *Heliconia*. Heliconias production is carried out mainly to attain ornamental purposes, and little is known on their agronomic management. This study aimed to evaluate the effect of beneficial elements aluminum (Al), cobalt (Co), selenium (Se) and silicon (Si) on growth and nutrient concentrations of different plant tissues of *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian in a hydroponic system under greenhouse conditions, using the Steiner universal solution to supply essential nutrients demands. Beneficial elements micromolar concentrations are described as follows. For Al: 0, 10, 30 and 50; Co: 0.0, 0.75, 1.5 and 2.25; Se: 0, 5, 15 and 25; and Si: 0.0, 0.5, 1.0 and 1.5. For each element, the experimental design was completely randomized with four treatments and seven replicates each. The experimental unit consisted of a 20 x 25 cm dark polyethylene bag containing volcanic gravel as substrate, and two heliconia rhizomes each. The experiment lasted 12 weeks and in the end, plants were harvested and divided into leaves, stems and roots for further analyses. Results indicate that the beneficial elements applied in the nutrient solution did not affect plant growth under our experimental conditions. Instead, their effects were more evident on nutrient status of plant tissues analyzed, since when applied in the nutrient solution they differentially modified essential nutrient concentrations among tissues analyzed. Particularly, aluminum increased P, Fe, Cu, B and Mn concentrations mainly in leaves. Cobalt raised Ca and Cu concentrations in leaves, as well as Fe and Mn in stems. Concerning selenium, applications of this element enhanced K and Mn concentrations in leaves. Finally, silicon increased Fe and Cu concentrations in leaves, as well as Fe in stems. We conclude that application of Al, Co, Se and Si as beneficial elements did not change plant growth, while nutrient concentrations are significantly affected in the tissues analyzed.

Keywords: Beneficial element, Heliconiaceae, nutrition, Al, Co, Se, Si

DEDICATORIA

A Díos

Porque se manifiesta cada día en cosas tan bellas como lo es la naturaleza y por el gran regalo que es la vida.

A mis padres Casildo y Guadalupe

Un padre vale por cien maestros (George Herbert) y ustedes son el pilar de mi formación y de mis logros, por hacerme un hombre de bien e independiente, por eso y muchas cosas más, mil gracias.

A mis hermanas y hermanos

A medida que crecíamos, mis hermanos actuaban como si no les preocupase, pero siempre supe que me cuidaban y estaban allí (Catherine Pulsifer). Porque nunca falta la alegría en la casa, a mis hermanas por todas sus atenciones y consejos: Liova, Benita, Rosalina, Sixta y Guadalupe. También a mis hermanos porque sé lo que se sufre al trabajar bajo el sol en el campo, gracias por sus enseñanzas hermanos: Vidal, Ramos, Teodoro, Alejandro, Ángel, Andrés de Jesús y Arturo. Y a ti hermanita Rosa Maura y sobrina Toñita por ser los angelitos de la familia Cuacua Temiz.

A Angie

A pesar de que a veces no coincidimos en pensamientos, sabemos que coincidimos perfectamente en sentimientos que nos hacen ponernos de acuerdo en todo (Anónimo). Gracias por ser una parte fundamental en esta etapa de mi vida, por todos los momentos agradables y por tu paciencia en los desagradables y por el gran apoyo brindado para lograr esta meta. Sin tu ayuda no hubiera sido posible concretar un capítulo más en mi vida.

A mis sobrinos

Para ejercer una influencia benéfica entre los niños, es indispensable participar de sus alegrías (Don Bosco). Porque con el simple hecho de mirarlos reír, jugar o llorar un momento, me llenaban de motivos para seguir adelante cuando me alejaba de ellos, por eso, a Nicole, Carolina, Braulio, Daniel, Ángel Gabriel, Ángel Uriel, Ramiro y Ricardo les digo muchas gracias.

A mis compañeros

Tener un amigo... es una gracia. Conservar un amigo... es una virtud. Y... ser tu amigo es un honor. Gracias compañeras y compañeros Angie, Nadia, Anel, Jorge, Luz, Mago, Etelberto, Mariel, por todos esos agradables momentos... También le digo a usted maestra Perlita, mil gracias por su apoyo, pero más... por su amistad.

AGRADECIMIENTOS

A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico con el cual fue posible llevar a cabo la investigación del programa de maestría.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de continuar con mi desarrollo profesional y formación académica a nivel postgrado.

A la Línea Prioritaria de Investigación 4 en Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje del Colegio de Postgraduados, por las enseñanzas sobre investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria.

A la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento 1 en Eficiencia y Sustentabilidad en la Producción Primaria en Sistemas Agroalimentarios del programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable del Campus Córdoba, por los apoyos para la realización de esta investigación.

A la **Subdirección de Vinculación** del Campus Córdoba, por los apoyos otorgados y las facilidades brindadas para llevar a cabo parte de estos estudios en las Microrregiones de Atención Prioritaria (MAP) que coordina.

Dr. Fernando Carlos Gómez-Merino, gracias por permitirme haber formado parte en su área de trabajo, por el apoyo incondicional y los enriquecedores y productivos consejos brindados que fueron necesarios e indispensables para terminar este proyecto de investigación. Le agradezco las aportaciones y observaciones en la redacción de artículos y tesis.

Dra. Libia Iris Trejo-Téllez, decir gracias es poco, por todas sus atenciones y sugerencias durante la fase de experimentación y análisis de los datos, así como la redacción de artículos y la presente tesis.

Dr. Joel Velasco-Velasco, por todas las atenciones prestadas a lo largo del proyecto y sus aportaciones para la realización de esta tesis.

CONTENIDO

RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE CUADROS ..	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
I.1. ANTECEDENTES	1
I.2. NUTRICIÓN DE LAS HELICONIAS	4
I.3. ELEMENTOS BENÉFICOS.....	7
I.4. LITERATURA CITADA.....	10
CAPÍTULO II. EFECTO DEL ALUMINIO EN <i>Heliconia psittacorum</i> L.F. X <i>H. spathocircinata</i> cv. GOLDEN TORCH ADRIAN.....	14
II.1. INTRODUCCIÓN	14
II.2. OBJETIVOS.....	15
II.2.1. Objetivo general	15
II.2.2. Objetivos específicos	15
II.3. HIPÓTESIS	16
II.3.1. Hipótesis general	16
II.3.2. Hipótesis específica	16
II.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
II.4.1. Material biológico	16
II.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra.....	16
II.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas	17
II.4.4. Localización del experimento.....	17
II.4.5. Solución nutritiva y el aluminio	17
II.4.6. Cosecha del experimento	18
II.4.7. Variables evaluadas	19
II.4.8. Diseño experimental.....	20
II.4.9. Análisis estadístico de los datos.....	20
II.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
II.5.1. Indicadores de crecimiento	20
II.5.2. Análisis nutrimental.....	24
II.6. CONCLUSIONES.....	31
II.7. LITERATURA CITADA	32

CAPÍTULO III. EL EFECTO DEL COBALTO EN <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. GOLDEN TORCH ADRIAN	35
III.1. INTRODUCCIÓN	35
III.2. OBJETIVOS	36
III.2.1. Objetivo general	36
III.2.2. Objetivos específicos	36
III.3. HIPÓTESIS	37
III.3.1. Hipótesis general	37
III.3.2. Hipótesis específica	37
III.4. MATERIALES Y MÉTODOS	37
III.4.1. Material biológico	37
III.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra	37
III.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas	38
III.4.4. Localización del experimento	38
III.4.5. Solución nutritiva y el cobalto	38
III.4.6. Cosecha del experimento	39
III.4.7. Variables evaluadas	40
III.4.8. Diseño experimental	41
III.4.9. Análisis estadístico de los datos	41
III.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
III.5.1. Indicadores de crecimiento	41
III.5.2. Análisis nutrimental	46
III.6. CONCLUSIONES	52
III.7. LITERATURA CITADA	53
CAPÍTULO IV. EL EFECTO DEL SELENIO EN <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. GOLDEN TORCH ADRIAN	56
IV.1. INTRODUCCIÓN	56
IV.2. OBJETIVOS	57
IV.2.1. Objetivo general	57
IV.2.2. Objetivos específicos	57
IV.3. HIPÓTESIS	58
IV.3.1. Hipótesis general	58
IV.3.2. Hipótesis específica	58
IV.4. MATERIALES Y MÉTODOS	58
IV.4.1. Material biológico	58
IV.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra	58
IV.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas	59
IV.4.4. Localización del experimento	59
IV.4.5. Solución nutritiva y el selenio	59

IV.4.6. Cosecha del experimento.....	60
IV.4.7. Variables evaluadas.....	61
IV.4.8. Diseño experimental.....	62
IV.4.9. Análisis estadístico de los datos.....	62
IV.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
IV.5.1. Indicadores de crecimiento.....	62
IV.5.2. Análisis nutrimental.....	66
IV.6. CONCLUSIONES.....	72
IV.7. LITERATURA CITADA.....	73
V. EL EFECTO DEL SILICIO EN <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. GOLDEN TORCH ADRIAN.....	75
V.1. INTRODUCCIÓN.....	75
V.2. OBJETIVOS.....	76
V.2.1. Objetivo general.....	76
V.2.2. Objetivos específicos.....	77
V.3. HIPÓTESIS.....	77
V.3.1. Hipótesis general.....	77
V.3.2. Hipótesis específica.....	77
V.4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	77
V.4.1. Material biológico.....	77
V.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra.....	78
V.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas.....	78
V.4.4. Localización del experimento.....	78
V.4.5. Solución nutritiva y el silicio.....	78
V.4.6. Cosecha del experimento.....	79
V.4.7. Variables evaluadas.....	80
V.4.8. Diseño experimental.....	81
V.4.9. Análisis estadístico de los datos.....	81
V.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	82
V.5.1. indicadores de crecimiento.....	82
V.5.2. Análisis nutrimental.....	86
V.6. CONCLUSIONES.....	92
V.7. LITERATURA CITADA.....	93

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

- Cuadro I. 1.** Principales usos ornamentales de algunas especies de heliconias.....3
- Cuadro I. 2.** Niveles óptimos de macronutrientes y micronutrientes en tejidos foliares de heliconias.....5

CAPÍTULO II

- Cuadro II. 1.** Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientes utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.18
- Cuadro II. 2.** Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.....24
- Cuadro II. 3.** Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tallo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.....25
- Cuadro II. 4.** Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en raíz de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.....25

CAPÍTULO III

- Cuadro III. 1.** Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientes utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.39
- Cuadro III. 2.** Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva.46

Cuadro III. 3. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.46

Cuadro III. 4. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en raíces de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva.47

CAPÍTULO IV

Cuadro IV. 1. Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientos utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.60

Cuadro IV. 2. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.66

Cuadro IV. 3. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.67

Cuadro IV. 4. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en raíces de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.67

CAPÍTULO V

Cuadro V. 1. Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientos utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.79

Cuadro V. 2. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva.86

Cuadro V. 3. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tallo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva.86

Cuadro V. 4. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en raíces de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva.87

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura I. 1. Efectos benéficos de los elementos Al, Ce, Co, I, La, Na, Se, Si, Ti y V en el metabolismo vegetal. En cada elemento se especifican las especies o tipos de plantas donde se han reportado los principales efectos.8

CAPÍTULO II

Figura II. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio por 76 días.18

Figura II. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....21

Figura II. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....22

Figura II. 4. Número de hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....23

Figura II. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....23

Figura II. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....24

Figura II. 7. Concentración de micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Al en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).26

Figura II. 8. Concentración de micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Al en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).27

Figura II. 9. Concentración de micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Al en raíces de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).28

CAPÍTULO III

Figura III. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas durante 76 días con diferentes concentraciones de Co en la solución nutritiva.39

Figura III. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....42

Figura III. 3. Diámetro de tallo en plantas de <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....	42
Figura III. 4. Hojas totales en plantas de <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....	43
Figura III. 5. Índice de verdor en hojas de <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....	43
Figura III. 6. Área foliar en plantas de <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....	44
Figura III. 7. Concentración de microelementos Fe, Cu, Zn, Mn y B en tejido foliar de plantas de <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)...48	48
Figura III. 8. Concentración de microelementos Fe, Cu, Zn, Mn y B en tallos de plantas de <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)...49	49
Figura III. 9. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Co en raíces de plantas <i>Heliconia psittacorum</i> L.f. x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes	

concentraciones de cobalto en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)...50

CAPÍTULO IV

Figura IV. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas por 76 días con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.60

Figura IV. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).63

Figura IV. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).63

Figura IV. 4. Hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).64

Figura IV. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).64

Figura IV. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).65

Figura IV. 7. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Se en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).
.....68

Figura IV. 8. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Se en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)...69

Figura IV. 9. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Se en raíces raíces de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).
.....70

CAPÍTULO V

Figura V. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva durante 76 días.....80

Figura V. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).82

Figura V. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....83

Figura V. 4. Hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....83

Figura V. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).....84

Figura V. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).84

Figura V. 7. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Si en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de Si en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$)...88

Figura V. 8. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Si en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de Si en la solución nutritiva.. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....89

Figura V. 9. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Si en raíz de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de Si en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).....90

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

I.1. ANTECEDENTES

Dentro de la familia Heliconiaceae del orden botánico de las Zingiberales, las heliconias constituyen el único género, *Heliconia*. Entre algunas de las características que permiten identificar a este orden se encuentran las hojas largas y grandes con coloridas inflorescencias (Díaz, 2006). La planta puede alcanzar hasta 12 metros de altura dependiendo de la especie y se reproducen principalmente mediante tallos subterráneos denominados rizomas (Kress *et al.*, 2004).

El orden de las Zingiberales lo conforman siete familias a las cuales pertenecen especies de interés comercial como: ave del paraíso (Strelitziaceae), banano, plátano y musa (Musaceae), ginger (Zingiberaceae), costus (Costaceae), cannas y chirillas (Cannaceae) y calateas (Marantaceae) (Díaz, 2006). Las heliconias conforman un grupo de especies nativas de América Tropical, junto con lirios, alpinias, anturios, antorchas, entre otras. A pesar de su importancia reciente en los mercados nacionales e internacionales, estas plantas han sido escasamente estudiadas (Jerez, 2007).

En el mundo se han identificado entre 225 y 250 especies del género *Heliconia*, la mayoría con potencialidad como flor de corte. Sin embargo, esta cantidad es un tanto incierta debido a que en los últimos cien años la taxonomía de este género ha sido investigada por varios científicos con diferentes enfoques y herramientas técnicas (Jerez, 2007; Sosa, 2013).

Estas especies se encuentran distribuidas principalmente desde el sur de México hasta el norte de Argentina, incluyendo las islas del mar Caribe. Curiosamente, seis de estas especies se han aislado del continente americano, y prosperan adecuadamente en algunas islas del Pacífico Sur (Cabral y Di Benedetto, 2010).

México cuenta con 16 especies nativas de heliconias distribuidas en las zonas tropicales del sur del país: *Heliconia adflexa*, *H. aurantiaca*, *H. bihai*, *H. bourgaeana*, *H. champneiana*, *H. collinsiana*, *H. latispatha*, *H. librata*, *H. mariae*, *H. mooreana*, *H. schiedeana*, *H. spissa*, *H.*

tortuosa, *H. uxpanapensis*, *H. vaginalis* y *H. wagneriana*. De todas ellas, en el estado de Veracruz se distribuyen nueve (Gutiérrez-Báez, 2000), mientras que en la Selva Lacandona existen 14 especies: *H. adflexa*, *H. aurantiaca*, *H. champneiana*, *H. collinsiana*, *H. dielsiana*, *H. latispatha*, *H. librata*, *H. psittacorum*, *H. rostrata*, *H. schiedeana*, *H. spissa*, *H. uxpanapensis*, *H. vaginalis* y *H. wagneriana* (Santos *et al.*, 2009).

En su ambiente natural de climas tropicales y subtropicales, estas plantas pueden desarrollarse en regiones secas y húmedas, entre 200 y 2000 m de altitud, pero para la mayoría de las especies un desarrollo ideal es a 1500 metros sobre el nivel del mar. Los rangos de temperatura para su crecimiento y desarrollo oscilan entre los 20 y 32 °C, con irradiancias moderadas de entre 250 y 710 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A menudo se pueden observar al borde de los montes, aunque sin cuidados especiales son pocas las especies que se desarrollan en campos abiertos. De ahí que su cultivo más frecuente sea a la sombra para lograr una coloración más intensa de las brácteas en algunos cultivares, aunque con cuidados agrícolas especiales se pueden establecer y producir a pleno sol (Cabral y Di Benedetto, 2010; Henao y Ospina, 2008).

En términos productivos y comerciales, la reproducción de heliconias por medio de semillas o drupas no es recomendable, ya que el proceso de germinación tarda de algunos meses hasta más de un año, y con ello no se consigue el buen desarrollo de vástagos y rizomas, de ahí que el principal método para la propagación de éstas es asexual por medio de rizomas, que resulta más fácil y seguro (Benítez-Domínguez, 2010; ICA, 2012). Para esto se cortan los pseudotallos a una altura de 15 a 30 cm desde la base, para luego seccionar los rizomas con uno o dos tallos, se deben de quitar raíces y hojas muertas, luego desinfectar con un fungicida (Broschat y Donselman, 1983).

Su hábito herbáceo y erecto les permite alcanzar alturas que varían de los 0.5 a 8.0 m, dependiendo de la especie (Viegas, 2005). Además de que poseen un aspecto llamativo por sus atractivos colores, en algunas especies sus hojas y rizomas son usados para la preparación de alimentos (Benítez-Domínguez *et al.*, 2011). Por ejemplo, el rizoma de la especie *H. hirsuta* es comestible asado o cocinado. Además, en la mayoría de estas especies las hojas son usadas para envolver alimentos.

Aunque en México no existen datos oficiales sobre la producción y volumen de comercialización de estas especies, se sabe que los principales productores son Veracruz y Chiapas (Baltazar y Figueroa, 2009).

En términos de uso ornamental, estas especies se han utilizado principalmente como flores de corte, seguido de plantas de jardín y menos común como maceta (**Cuadro I.1**). Este último punto se debe a su extenso crecimiento y desarrollo de rizomas.

Cuadro I. 1. Principales usos ornamentales de algunas especies de heliconias.

Especie	Uso como flor de corte	Uso como planta de maceta	Uso como planta de jardín
<i>H. pendula</i>	x		x
<i>H. bihai</i>	x		x
<i>H. latisphata</i>	x		x
<i>H. collinsiana</i>	x		x
<i>H. stricta</i>	x		x
<i>H. psittacorum</i>	x	x	x
<i>H. caribea</i>	x		x
<i>H. brasiliensis</i>	x		x
<i>H. aurantiaca</i>	x		x
<i>H. augusta</i>	x		x
<i>H. rostrata</i>	x		x
<i>H. schiediana</i>	x		x
<i>H. wagneriana.</i>	x		x
<i>H. chartacea</i>	x		x
<i>H. acuminata</i>		x	

La utilización como flores de corte es relativamente reciente, aunque existe una creciente demanda tanto en mercados nacionales como internacionales (Cabral y Di Benedetto, 2010). El mercado mundial de estas flores es todavía incipiente y aunque ya hay algunas especies más reconocidas que otras, todavía es muy pronto para desechar especies que en algún momento puedan ser altamente demandadas en los mercados internacionales (Sosa, 2013).

Con frecuencia las heliconias son utilizadas para arreglos florales que la mayoría de veces incluyen otras flores tropicales como gingers, aves de paraíso, maracas, entre otras (Alamos *et al.*, 2009). Debido a su llamativo color, con las heliconias se pueden crear arreglos con muy pocas flores sin perder la belleza que las caracteriza. Son utilizadas en hoteles para decorar las recepciones y salas de espera, adornos en bufetes y pasillos importantes para que llamen la atención.

De acuerdo con Sosa (2013), las exportaciones de flores exóticas, principalmente del género *Heliconia*, varían entre 24,000 y 30,000 tallos por año, siendo, Estados Unidos, Holanda, Canadá, Alemania, Reino Unido, Francia y Suiza los principales importadores. El proceso de exportación consiste en hacer almohadillas de 30 x 60 cm, en grupos de máximo seis flores para evitar daños.

Estas flores se encuentran generalmente en floristerías de clase media y alta debido al elevado precio que éstas alcanzan (Alamos *et al.*, 2009).

I.2. NUTRICIÓN DE LAS HELICONIAS

La nutrición de heliconias ha sido poco estudiada en comparación con otras especies ornamentales (ICA, 2012), aunque en años recientes ha habido un mayor interés por este tópico.

El cultivo de las heliconias se debe realizar en suelos ácidos (pH 4.5 - 6.5) bien drenados, con buena estructura granular y porosidad. Un mal drenaje provocaría la pudrición de raíces y favorecería la aparición de bacterias como *Pseudomonas solanacearum* que ocasiona marchitez en la planta, y también de hongos como *Cylindrocladium* sp., *Pythium splendens* y *Rhizoctonia solani*, que atacan específicamente la raíz de la planta (Alamos *et al.*, 2009; Jerez, 2007).

En cuanto a nutrientes, Sosa (2013) afirma que la mayoría de las especies son altamente susceptibles a la deficiencia de potasio, y no toleran los suelos básicos, ni con mal drenaje.

Los niveles óptimos de macronutrientes y micronutrientes reportados por el ICA (2012) se presentan en el **Cuadro I.2**. Sin embargo, no se especifican ni las condiciones

ambientales para las cuales son válidos estos valores ni los genotipos en los cuales se realizaron los estudios, por lo que se considera importante realizar este tipo de determinaciones con mayor precisión.

Cuadro I. 2. Niveles óptimos de macronutrientes y micronutrientes en tejidos foliares de heliconias.

Nivel óptimo foliar									
Concentración de macronutrientes en hoja (% en base seca)					Concentración de micronutrientes en hoja (ppm en base seca)				
N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	B
3.0	0.23	1.5	0.35	0.25	300	75	10	15	20

Fuente: ICA (2012).

A este respecto, Jerez (2007) reportó que la aplicación de nitrógeno en concentraciones de 1.2 kg m⁻³ de suelo (en una dosis equilibrada de 2N:1P:1K) en el cultivo de heliconia Golden Torch, mejoró el peso de inflorescencia, área foliar y peso seco de todos los órganos de la planta.

Para un buen desarrollo de la planta, el sustrato debe contener un gran porcentaje de materia orgánica, libre de piedras y terrones para que no afecte el desarrollo radical (la proporción de tierra y materia orgánica descompuesta debe ser de 3:1) (Sosa, 2013).

Alamos *et al.* (2009) mencionan que para cualquier especie, una semana después de la siembra se debe aplicar una fertilización rica en fósforo para estimular el desarrollo de raíces, y pasados tres meses se deben adicionar micronutrientes y el resto de macronutrientes excepto potasio; a los 6 meses se aplica un fertilizante rico en potasio para preparar la planta para la floración; para el segundo año se deben fertilizar cada tres meses. Además, toda la familia Heliconiaceae requiere altos niveles de nitrógeno, magnesio, potasio y azufre, y micronutrientes tales como molibdeno, boro, y zinc. En la etapa de floración se recomienda aplicar 3:0.5:2 de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

Para la fertilización química, en la mayoría de las especies, Sosa (2013) recomienda la aplicación de 46, 50 y 150 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, al primer, cuarto y quinto mes después de plantadas. Otros elementos que se deben considerar son el magnesio y elementos esenciales mencionados anteriormente. Es recomendable que en *Heliconia psittacorum* se apliquen 650 g N m⁻², ya que ésta responde positivamente a altos aportes de N y fertilizar con 3N-1P-2K mediante abonos de lenta liberación en el momento de la plantación y posteriormente una vez cada año (Jerez, 2007).

No obstante, una menor proporción de nitrógeno (1N:1K) permitiría optimizar conjuntamente la producción de flores y el crecimiento vegetativo (Clemens y Hugh, 1999).

Los síntomas de deficiencia de hierro y manganeso en heliconia cv. Golden Torch Adrian, pueden ser provocados por un mal drenaje del suelo, niveles de pH altos, pudrición de raíces o por ataque de nemátodos (Jerez, 2007).

Los síntomas de deficiencia de magnesio aparecen primero en las hojas más viejas, como amplias bandas amarillas a lo largo de los márgenes de las hojas (Broschat y Donselman, 1983).

La fertilización orgánica en *Heliconia psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian, proporciona un aumento significativo en las variables siguientes: número de macollos, longitud y diámetro del tallo floral, número de flores por grupo de tallo, longitud de las brácteas y el área foliar (Farias *et al.*, 2013).

De Oliveira *et al.* (2006) mencionan que la fertilización con cama de pollo (mezcla de estiércol con un sustrato constituido por materiales fibrosos como aserrín, paja y cáscara de diversos granos), desempeña un papel importante en la producción de flores de *Heliconia bihai* cv. Lobster Claw Two, ya que en el primer año obtuvieron cinco flores por planta con la aplicación de 120 g de N, 45 g de P₂O₅, 120 g de K₂O y 23 g de MgSO₄, junto con 10 L de cama de pollo por planta.

En estas especies, la humedad relativa debe estar alrededor del 80%, ya que humedades altas limitan la apertura de los estomas controlando la pérdida de agua por las plantas. A la vez las heliconias requieren de gran cantidad de agua, ya que plantas bien irrigadas producen

inflorescencias de muy buena calidad a diferencia de plantas crecidas bajo estrés hídrico (Alamos *et al.*, 2009).

Jerez (2007) sugiere que para *Heliconia psittacorum* en condiciones de invernadero, es necesaria una lámina de riego neta de 1 cm día⁻¹.

Por su parte Monteiro *et al.* (2006) estimaron un coeficiente de evapotranspiración para cultivo no protegido de *Heliconia psittacorum* L. x *H. spathocircinada* (Arist) cv. Alan Carle de 2.2 mm día⁻¹, con coeficientes de cultivo para la etapa inicial de 0.41, para la etapa vegetativa de 0.78 y para la de floración de 1.26 de mm día⁻¹.

Como las heliconias desarrollan hojas grandes, se deshidratan fácilmente por la radiación directa, por ello se recomienda usar riego por aspersión foliar. Para este fin, la cantidad de agua depende del cultivar, la intensidad lumínica y la época del año (Alamos *et al.*, 2009).

Baltazar y Figueroa (2011), mencionan que por el nivel de eficiencia de aplicación, se recomienda el riego por goteo (90% de eficiencia), seguido por microaspersión (80%) o aspersión (70%).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, es evidente que para obtener flores exóticas de calidad como las heliconias, es indispensable un buen manejo del cultivo, así como una fertilización equilibrada para obtener una gran producción y demanda en el mercado.

I.3. ELEMENTOS BENÉFICOS

Además de los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Cu, Mo, Zn, Cl, B, Fe, Mn y Ni), en la nutrición de las plantas hay elementos que tienen efectos benéficos (Pilon-Smits *et al.*, 2009). Estos elementos incluyen al Al, Ce, Co, La, Na, Se, Si, Ti, V y I, pero en plantas ornamentales como las heliconias, no hay investigaciones al respecto.

Los elementos benéficos al ser suministrados en bajas concentraciones a las plantas, pueden promover crecimiento y desarrollo, y estimular mecanismos de resistencia a factores de

estrés biótico y abiótico, o favorecer el aprovechamiento de otros nutrientes, como se muestra en la **Figura I.1** (Trejo-Téllez *et al.*, 2007). Estos elementos pueden compensar o remediar los efectos tóxicos de otros elementos, y también, en algunos casos, pueden suplir algunas funciones específicas de los nutrientes esenciales, tales como el mantenimiento de la presión osmótica (Favela-Chávez *et al.*, 2006), o mediar las respuestas de las plantas a fenómenos ambientales como sequía, toxicidad por metales pesados, bajas temperaturas, suelos con altas concentraciones de sales; y a factores bióticos como insectos plaga, o microorganismos patógenos, entre otros (Pilon-Smits *et al.*, 2009).

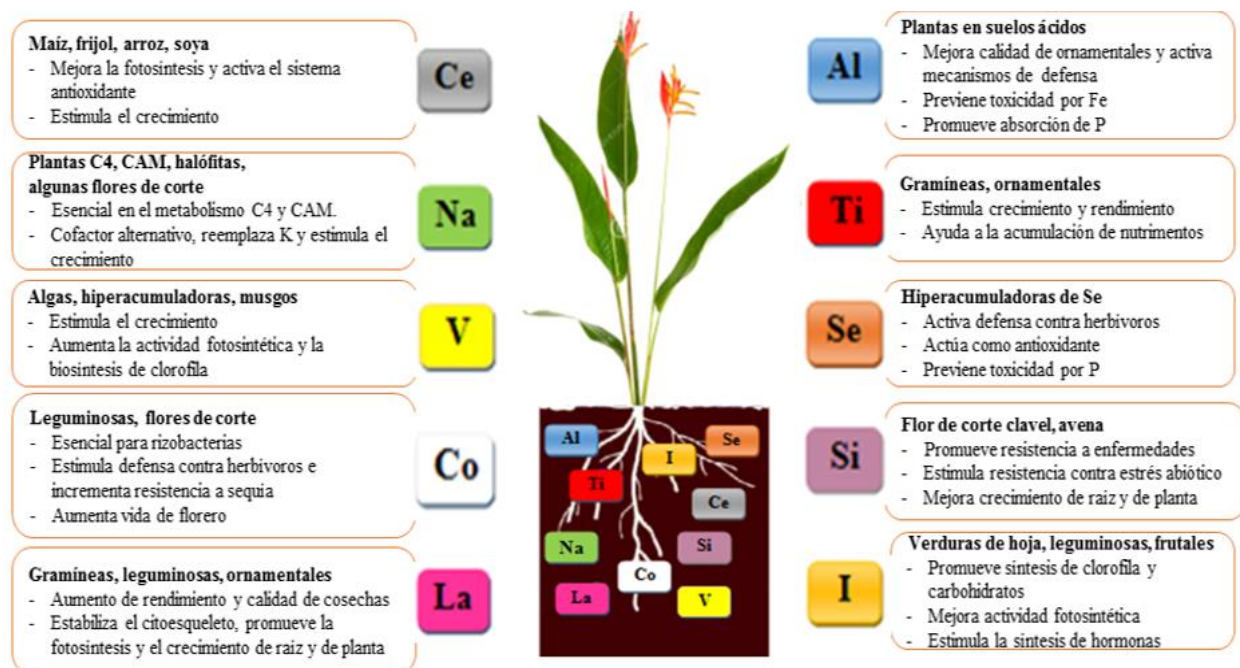


Figura I. 1. Efectos benéficos de los elementos Al, Ce, Co, I, La, Na, Se, Si, Ti y V en el metabolismo vegetal. En cada elemento se especifican las especies o tipos de plantas donde se han reportado los principales efectos.

Por ejemplo, en hortensias (*Hydrangea macrophylla*) el aluminio puede modificar el color de las flores desde rosa cuando absorben 50 mg kg^{-1} de biomasa seca y a azul con 4000 mg kg^{-1} de biomasa seca, lo cual se atribuye a la formación de un complejo coloidal o a la combinación del aluminio con un pigmento llamado delphinidina (Trejo-Téllez *et al.*, 2007), antocianina responsable de los pigmentos que se hallan en las células epidermales o subepidermales de la planta, principalmente en flores y frutos (Vargas-Simón *et al.*, 2002). El aluminio también retarda

la senescencia en flor de corte (Jowkar *et al.*, 2012), aumenta el diámetro de la flor (Seyf *et al.*, 2012), prolonga la vida de florero (Li-Jen *et al.*, 2000; Mohammadi *et al.*, 2012) y reduce la pérdida de peso fresco en vida de florero (De la Cruz-Guzmán *et al.*, 2007).

El cobalto tiene un efecto positivo en la fijación de N₂ en leguminosas y en los nódulos radicales de las no leguminosas (Trejo-Téllez *et al.*, 2007), ya que favorece la síntesis de leghemoglobina, enzima esencial en la fijación biológica de nitrógeno (Ferraris y Couretot, 2005). Además, el Co incrementa la longevidad floral (Mandujano-Piña *et al.*, 2012; Kazemi y Ameri, 2012), favorece la vida de florero y la absorción de agua, reduce la pérdida de peso en fresco, aumenta el contenido de carotenoides y proteínas (Mohammadi *et al.*, 2012) y reduce la producción de etileno (Babak *et al.*, 2011).

Para el caso del selenio, su aplicación a bajas concentraciones puede aumentar la tolerancia al estrés oxidativo inducido por UV, retrasar la senescencia, y promover el crecimiento (Hajiboland y Keivanfar, 2012). Además, el selenio puede regular el contenido de agua bajo condiciones de sequía (Germ *et al.*, 2007).

El efecto benéfico del silicio se observa en flor de corte clavel “Harlem”, que al adicionarle silicato de potasio (K₂SiO₃) a concentraciones de 100, 150 y 200 mg L⁻¹ a la solución, aumenta la vida de florero y ocasiona una reducción en la producción de etileno respecto a la solución control que solo contenía agua destilada (Babak *et al.*, 2011).

En suma, los elementos benéficos prometen ser una buena alternativa para el área ornamental a concentraciones relativamente bajas para aumentar la vida en florero para flor de corte y mejorar algunas características de calidad.

De ahí que el objetivo general de esta investigación sea evaluar el efecto de la aplicación de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si a diferentes concentraciones, adicionadas a la solución nutritiva, para medir las respuestas fisiológicas (diámetro y altura de la planta, hojas totales y área foliar) y nutricionales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian en condiciones de hidroponía.

I.4. LITERATURA CITADA

- Alamos, C. K. A., S. L. Avilla A., S. A. Figueroa C., A. Hernández S., B. L. Mendez P. 2009. Importación de heliconias de Colombia a México. Tesis de licenciatura. IPN. México D. F. p. 182.
- Babak, J., Majid R. 2011. Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. *Journal of Biological and Environmental Science*. 5:147-152.
- Baltazar, B. O., K. A. Figueroa R. 2009. Flores que atrapan tu mirada. Estudio de vida de florero y comercial de flores ornamentales de la zona centro del estado de Veracruz. Colegio de Postgraduados, México. 80 p.
- Benítez-Domínguez, L. 2010. Estudios anatómicos, fisiológicos y nutrimentales de semillas de heliconias. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 87 p.
- Benítez-Domínguez, L., F. C. Gómez-Merino, L. I. Trejo-Téllez, A. Robledo-Paz. 2011. Anatomía, contenidos de ácido abscísico y nutrimentos y germinación de semillas de heliconia. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 34: 189-196.
- Broschat, T. K., H. M. Donselman. 1983. Production and postharvest culture of *Heliconia psittacorum* flowers in South Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 96: 272-273.
- Cabral, A., A., Di Benedetto. 2010. Estudios en la producción de heliconias para flor de corte en El Colorado (Formosa). *Horticultura Argentina*. 29: 33-40.
- Clemens, J., R. Hugh. 1999. Optimizing mineral nutrition for flower production in *Heliconia* “Golden Torch” using response surface methodology. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 124: 713-718.

- De la Cruz-Guzmán, G. H., Arriaga-Frías, A., Mandujano-Piña, M., Elias-Arias, J. B. 2007. Efecto de tres preservadores de la longevidad sobre la vida postcosecha de Rosa cv. Royalty. Revista Chapingo Serie Horticultura. 13:109-113.
- De Oliveira, R. F., I. J. Matos V., H. E. Oliveira C., D. A. Capucho F., J. Olanda C. 2006. Producción de flores de *Heliconia bihai* con abono mineral y orgánico. Comunicado técnico. 5 p.
- Díaz, J. 2006. Diagnóstico de la cadena productiva de heliconias y follajes en los departamentos del eje cafetalero y Valle del Cauca (Colombia). Biotrade initiative. Colombia. 46 p.
- Farías, A., W. de Albuquerque, G. Filho., L. Reis. 2013. Produtividade da *Heliconia psittacorum* x *Heliconia pathocircinada* cv. Golden Torch sob diferentes fontes de adubação orgánica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 17: 713-720.
- Favela-Chávez. E., P. Preciado R. A. Benavides M. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 146 p.
- Ferraris, G. N., L. Couretot. 2005. Evaluación de la inoculación y de diferentes dosis de cobalto y molibdeno como tratamiento de semillas o foliar en soja de primera. Biblioteca de Fertilidad y Fertilizantes. Consultado: 20/09/14 (Disponible en: <http://www.fertilizando.com>).
- Germ, M., V. Stibilj, I. Kreft. 2007. Metabolic importance of selenium for plants. European Journal of Plant Science and Biotechnology. 1: 91-97.
- Gutiérrez-Báez, C. 2000. Flora de Veracruz. Fascículo 118. Familia Heliconiaceae. Instituto de Ecología A. C. y Universidad de California-Riverside. Xalapa, México. 32 p.
- Hajiboland, R., N. Keivanfar. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta Agriculturae Slovenica. 9: 13-19.

- Henao, E. R., K. A. Ospina. 2008. Insectos benéficos asociados a cultivos de heliconias en el eje cafetero colombiano. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural. 12: 157-166.
- ICA. 2012. El cultivo de las heliconias. Bogotá Colombia. 36 p.
- Jerez, E. 2007. El cultivo de las heliconias. Cultivos Tropicales. 28: 29-35.
- Jowkar, M. M., M. Kafi, A. Khalighi., N. Hasanzadeh. 2012. Evaluation of aluminum sulfate as vase solution biocide on postharvest microbial and physiological properties of 'Cherry Brandy' rose. Annals of Biological Research. 3: 1132-1144.
- Kazemi, M., A. Ameri. 2012. Effect of Ni, CO, SA and sucrose on extending the vase-life of lily cut flower. Iranica Journal of Energy and Environment. 3: 162-166.
- Kress, W. J., Betancur J., Echeverry B. 2004. Heliconias. Llamaradas de la selva Colombiana. Ed. Cristina Uribe. Bogotá. Colombia. 200 p.
- Li-Jen, L., L. Yu-Han., H. Kuang-Liang, C. Wen-Shaw. 2000. Vase life of *Eustoma grandiflorum* as affected by aluminum sulfate. Botanical Bulletin of Academia Sinica. 42: 35-38.
- Mandujano-Piña, M., Ma. T. Colinas-León., A. M. Castillo-González., I. Alía-Tejacal, L. Valdez-Aguilar. 2012. Cobalto como retardante de la senescencia de *Lilium* híbrido oriental en postcosecha. Revista Chapingo Serie Horticultura. 18: 239-252.
- Mohammadi, M., D. Hashemabadi, B. Kaviani. 2012. Effect of cobalt chloride on vase life and postharvest quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). European Journal of Experimental Biology. 2: 2130-2133.
- Monteiro, G. A. R., J. H. Torres D., R. Sonsol G., F. Carvalho B., F. M. Lima B. 2006. Estimativa da evapotranspiração e coeficiente de cultivo da *Heliconia psittacorum* L x *H. spathocircinata* (Arist) cultivada em ambiente protegido. Revista Ciência Agrônômica. 37: 13-18.

- Pilon-Smits, E. A., C. F. Quinn, W. Tapken, M. Malagoli, M. Schiavon. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*. 12: 267-274.
- Santos, B., R. Lombera, J. Benítez. 2009. New records of *Heliconia* (Heliconiaceae) for the region of Chajul, Southern Mexico, and their potential use in biodiversity-friendly cropping systems. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 80: 857-860.
- Seyf, M., A. Khalighi. Y. Mostofi, R. Naderi. 2012. Study on the effect of aluminum sulfate treatment on postharvest life of the cut rose 'Boeing' (*Rosa hybrida* cv. Boeing). *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 16: 128-132.
- Sosa, F. 2013. Cultivo del género *Heliconia*. *Cultivos Tropicales*. 34: 24-32.
- Trejo-Téllez, L. I., F. C. Gómez-Merino, G. Alcántar-González. 2007. Elementos benéficos. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 59-101.
- Vargas-Simón G., R. M. Soto-Hernández, M. T. Rodríguez-González. 2002. Análisis preliminar de antocianinas en fruto de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 25:261-264.
- Viegas, P. 2005. *In vitro* establishment of *Heliconia rauliniana* (Heliconiaceae). *Scientia Agricola*. 62:69-71.

CAPÍTULO II. EFECTO DEL ALUMINIO EN *Heliconia psittacorum* L.F. X *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

II.1. INTRODUCCIÓN

El aluminio (Al) es el metal más abundante en la superficie terrestre, que comprende alrededor del 7% de su masa y su solubilidad aumenta a medida que disminuye el pH del suelo (Dong *et al.*, 2002).

Las especies de Al monohidróxido [$\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$ y $\text{Al}(\text{OH})_4^-$], presentes en la solución del suelo a pH entre 5.0 y 6.2, no se consideran tóxicas para las plantas, así también algunos tipos monovalentes de Al asociados a compuestos orgánicos, como AlF^{2+} o AlSO_4^+ , no representan riesgo de fitotoxicidad para los vegetales (Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2007).

Por otro lado, se considera que la forma Al^{3+} es más tóxica para las plantas a pH 4.5 que a 4.0 y que la inhibición del crecimiento radicular se debe a la forma hidrolítica $\text{Al}(\text{OH})_3$, más que a la forma monomérica Al^{3+} , ya que a pH entre 5.5 y 7.5, el Al^{3+} se encuentra precipitado (Casierra-Posada y Cárdenas-Hernández, 2009).

En suelos ácidos con pH menor a 5, el aluminio inhibe el crecimiento de raíces y muestra efectos tóxicos (Gallardo *et al.*, 2005). Si bien el Al es considerado un metal tóxico en altas concentraciones en suelos ácidos, también es un elemento benéfico y en ocasiones esencial para el buen desarrollo de algunas plantas.

En particular, los efectos benéficos del aluminio se han observado a concentraciones bajas, al estimular la actividad de diversas enzimas antioxidantes, promover el crecimiento radicular y general de la planta, retardar de senescencia en flor de corte, aumentar ganancia de peso fresco y diámetro de flores en vida de florero y en *Matricaria chamomilla* es capaz de aumentar el contenido de fenoles solubles y flavonoides en brotes y aminoácidos libres en las raíces (Shamsi *et al.*, 2008; Watanabe *et al.*, 2005; Kidd y Proctor, 2000; Jowkar *et al.*, 2012; Li-Jen *et al.*, 2000; Kováčik *et al.*, 2010).

Derivado de lo anterior, es evidente que el aluminio puede contrarrestar los efectos negativos de la vida poscosecha de flor de corte, lo cual se puede reflejar en mayor calidad de las mismas.

Si bien se han realizado investigaciones en distintas especies de plantas, en las cuales se han observado efectos favorables del Al como elemento benéfico, en particular en heliconias no hay datos al respecto.

En esta investigación se abordarán temas sobre el papel del aluminio en el cultivo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian, en específico la forma en que bajas concentraciones de este elemento impactan en su desarrollo fisiológico y en la absorción de nutrimentos.

II.2. OBJETIVOS

II.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del aluminio adicionado a la solución nutritiva de Steiner aplicada a plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian en condiciones de hidroponía, para medir su impacto en indicadores fisiológicos (diámetro y altura del tallo, unidades SPAD, hojas torales y área foliar) y concentración nutrimental.

II.2.2. Objetivos específicos

- Medir el efecto del Al sobre indicadores de crecimiento de heliconia Adrian (número de hojas, diámetro y altura del tallo, área foliar y unidades SPAD).
- Determinar las concentraciones de macronutrimentos y micronutrimentos en diferentes tejidos de las plantas, por efecto de la aplicación de Al en la solución nutritiva de Steiner.

II.3. HIPÓTESIS

II.3.1. Hipótesis general

- Al adicionar cantidades bajas de aluminio (10, 30 y 50 μM) a la solución nutritiva, las plantas de heliconia Adrian presentarán cambios fisiológicos e incrementarán la absorción de nutrimentos.

II.3.2. Hipótesis específica

- Los indicadores de crecimiento como diámetro y altura de la planta, número de hojas y área foliar, incrementarán con las dosis de Al aplicadas.
- Con las concentraciones suministradas de Al, aumentará la absorción de nutrimentos en hoja, tallo y raíz, modificando a la vez el desarrollo fisiológico de la planta.

II.4. MATERIALES Y MÉTODOS

II.4.1. Material biológico

Se utilizaron rizomas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian recolectados de las plantaciones del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, ubicado a 650 m de altitud, 18° 50" latitud norte 96° 51" longitud oeste, 18.4 °C de temperatura media anual y 78% de HR.

II.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra

Una vez que los rizomas se extrajeron de los terrenos de cultivo, se lavaron con suficiente agua corriente para quitarles el exceso de tierra, después se desinfectaron de la siguiente manera: se lavaron durante 1 min con agua esterilizada, se sumergieron por 1 min en una solución con cloro al 2%, se lavaron nuevamente por 5 min con agua destilada, posteriormente se sumergieron con una solución fungicida sistémica (2 mL L⁻¹ de agua) Lannate® (Ingrediente activo: Metomilo: S-Metil-N metilcarbamoil oxi tioacetamidato).

II.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual se cernió (diámetro de partícula de 0.5 a 1.5 cm), se lavó y se esterilizó en un autoclave a 1.2 libras, a 120 °C durante 15 min en bolsas de polietileno de 60 x 40 cm. Posterior a la esterilización se llenaron bolsas de polietileno de 20 x 25 cm con el tezontle, los tallos de los rizomas se cortaron a 25 cm de altura aproximadamente desde la base. Una vez desinfectados se sembraron 2 tallos por bolsa y se regaron cada tercer día con agua esterilizada durante 12 semanas.

II.4.4. Localización del experimento

Las plantas se trasladaron a un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el km 36.5 de la Carretera México-Texcoco, localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altitud de 2250 m.

II.4.5. Solución nutritiva y el aluminio

Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner a niveles crecientes (10, 20 y 50 %). El pH se ajustó a un rango de 5.0 a 5.8 con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10%. Se regaron por las mañanas, a cada planta se suministraron entre 200 y 300 mL de solución junto con aluminio como el elemento benéfico.

Durante la fase inicial que abarcó tres semanas, se utilizó la solución universal a una concentración del 10%, las siguientes dos semanas (semanas cuarta y quinta) se concentró al 20% y a partir de la sexta semana se preparó la solución al 50% hasta la cosecha del experimento en la semana 12 después de iniciar los tratamientos. Las sales grado reactivo utilizadas en la preparación de las soluciones nutritivas se muestran en el **Cuadro II.1**.

A estas soluciones se les adicionó niveles crecientes de aluminio a concentraciones bajas (10, 30 y 50 μM). La fuente de Al fue cloruro de aluminio ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$) grado reactivo marca Fermont®.

Cuadro II. 1. Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientos utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.

Fuente	Fórmula
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fosfato de potasio	KH_2PO_4
Nitrato de potasio	KNO_3
Sulfato de potasio	K_2SO_4
Tradecorp AZ®	Fe-EDTA, Mn-EDTA, Zn-EDTA, Cu-EDTA, B y Mo

II.4.6. Cosecha del experimento

Las plantas se cosecharon a los 76 días de experimentación con aluminio en la solución nutritiva en hidroponía. En diferentes fechas se tomaron las variables de crecimiento. Al finalizar el experimento las plantas fueron extraídas del tezontle (**Figura II.1**), se lavaron, se seccionaron por órgano y se pesaron, y se estimó el área foliar de las hojas.



Figura II. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio por 76 días.

II.4.7. Variables evaluadas

II.4.7.1. Indicadores de crecimiento

Estas variables se midieron cada quince días, y en total se tuvieron cinco mediciones durante toda la fase experimental.

Altura de la planta. Ésta se midió con un vernier digital marca Truper®, colocando la varilla para medir profundidad sobre la base de la planta al nivel del tezontle hasta la base donde se desarrolla la nueva hoja.

Diámetro del tallo. Esta variable se midió con el vernier digital justo a media altura de la planta.

Número de hojas. Se contabilizaron todas las hojas las cuales ya estaban bien desarrolladas.

Unidades SPAD. El índice de verdor de las hojas se realizó con el medidor portátil SPAD-502 marca Minolta®, eligiendo una hoja recientemente madura en cada repetición en la cual se realizaron tres lecturas SPAD y se determinó el promedio.

Área foliar. Se midió largo y ancho de las hojas y se estimó el área foliar de acuerdo al método descrito por Potdar y Pawar (1991). Esta variable también se estimó una vez cosechadas, mediante el medidor de área foliar LI-3100C Area Meter.

Peso fresco. Posterior a la cosecha también se determinó el peso fresco de los diferentes órganos, raíz, tallo y hoja. Esto se realizó con una balanza analítica marca Ohaus Mod. Adventurer Pro AV213C.

II.4.7.2. Análisis nutrimental

Las plantas fueron seccionadas en raíz, tallo y hojas y se secaron por separado en una estufa de aire forzado marca Riossa Mod. HCF-125D durante 72 h a una temperatura de 70 °C para obtener los pesos de biomásas secas. Una vez secas se trituraron para realizar los análisis correspondientes.

Nitrógeno total. La concentración de N total se determinó mediante la técnica Semimicro-Kjeldahl (Chapman y Pratt, 1973).

Análisis nutrimental. Se realizó una digestión húmeda diácida (ácidos nítrico y perclórico) para determinar P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Los digestados resultantes fueron filtrados previo a su lectura en un equipo de laboratorio de espectroscopia de emisión óptica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES 725).

II.4.8. Diseño experimental

El diseño consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos y entre 7 y 8 repeticiones, los tratamientos fueron 0, 10, 30 y 50 μM de Al. La unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno de 20 x 25 cm con dos rizomas cada una.

II.4.9. Análisis estadístico de los datos

Los resultados tanto de indicadores de crecimiento como de análisis nutrimental se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

II.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

II.5.1. Indicadores de crecimiento

De acuerdo a los resultados en las diferentes fases de medición de altura (0, 15, 30, 45 y 60 días de tratamiento), se pudo observar que el aluminio no tuvo efectos en esta variable de crecimiento (**Figura II.2**).

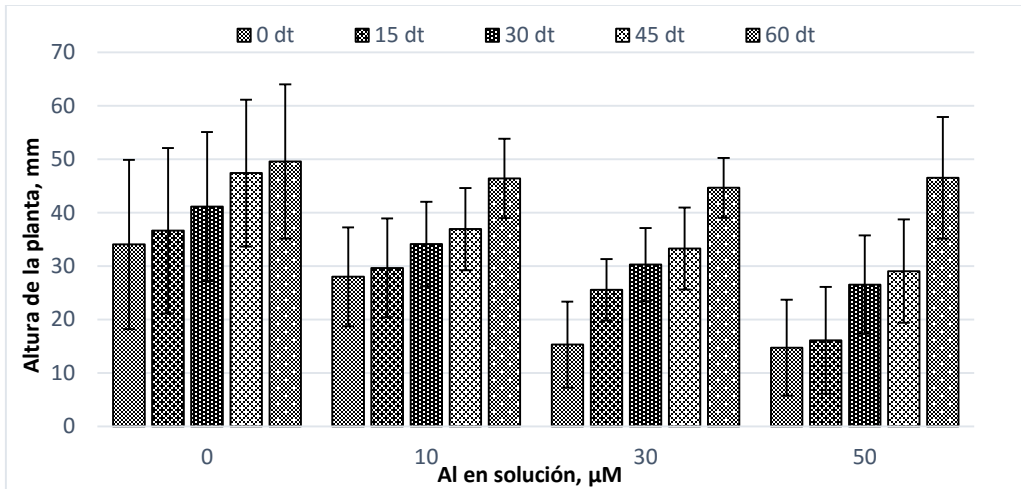


Figura II. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Si bien, en heliconias no hay estudios en la producción de estas con elementos benéficos que permitan comparar los resultados obtenidos en esta investigación, sí se han hecho estudios en otras especies. Por ejemplo, Watanabe *et al.* (2005) estudiaron el efecto del Al y el papel del citrato en la acumulación de este elemento en *Melastoma malabathricum*, y reportaron que cuando se combinan los nutrimentos con el Al, se mejora el desarrollo de raíz y el crecimiento de la planta. En abedul (*Betula pendula*), la aplicación de aluminio a concentraciones de 2 y 5 mg L⁻¹, aumenta el crecimiento (Kidd y Proctor, 2000).

Al igual que en altura de la planta, respecto al diámetro de tallo no hubo diferencias estadísticas significativas por efecto del aluminio (**Figura II.3**).

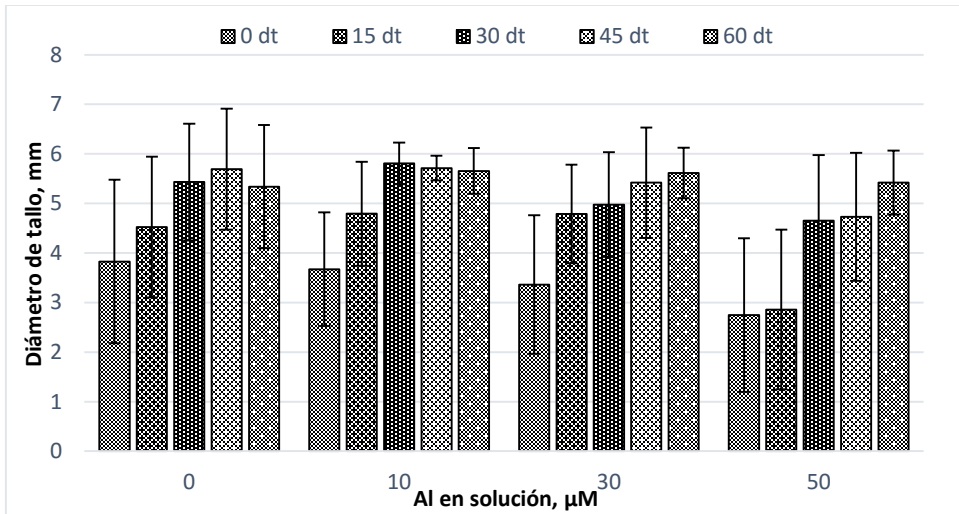


Figura II. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Si bien en el tratamiento 0 y 10 μM hubo un aumento en esta variable, ésta disminuyó debido a que a medida que la planta crecía, el tallo se iba compactado en su estructura. Un estudio similar revela que la aplicación de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y sacarosa al 8%, incrementan la calidad, la durabilidad y diámetro de los tallos de rosa (*Rosa hybrida*) cv. Maroussia en postcosecha (Teyebe *et al.*, 2013).

El total de hojas en heliconia Adrian fue en aumento durante las cinco mediciones, aunque sin diferencias significativas entre tratamientos (**Figura II.4**).

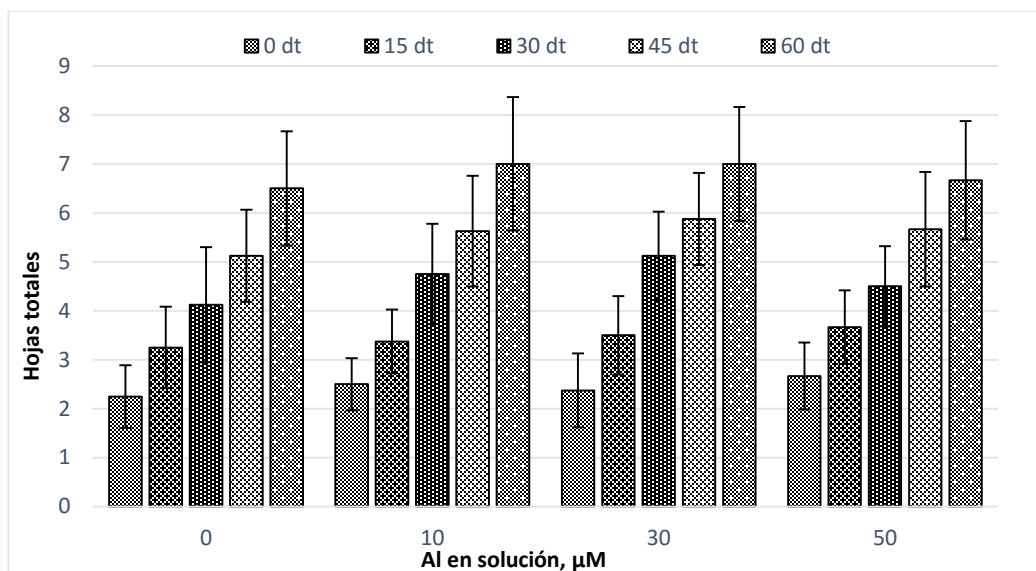


Figura II. 4. Número de hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Respecto a las unidades SPAD, aunque hubo variaciones en las distintas mediciones, la comparación de los promedios no mostró diferencias estadísticas significativas (**Figura II.5**).

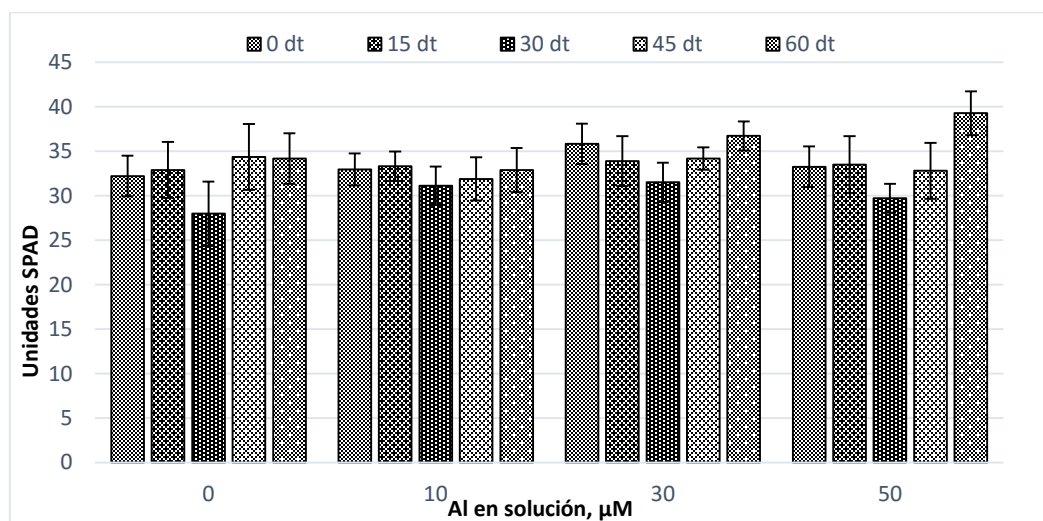


Figura II. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Por otra parte, si bien el área foliar (**Figura 11.6**) aumentó en todos los tratamientos, no hubo diferencias estadísticas significativas.

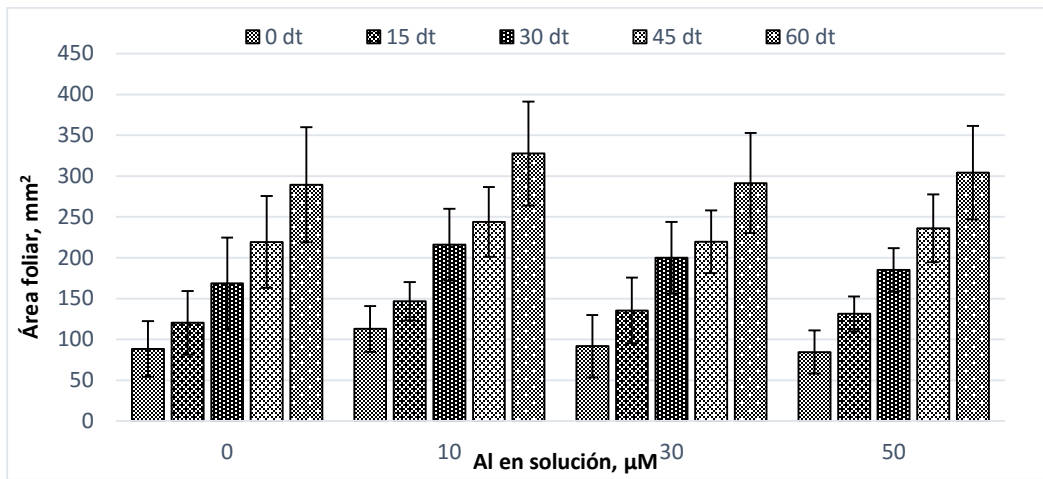


Figura II. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con aluminio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

II.5.2. Análisis nutrimental

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis nutrimental de hojas (**Cuadro II.2**), tallo (**Cuadro II.3**) y raíz (**Cuadro II.4**) para los distintos tratamientos, se puede observar que no hay diferencias significativas. Sin embargo, es posible observar un ligero incremento en la concentración de P en la raíz con la dosis de 30 μM y de la concentración de K con la dosis 50 μM respecto al control.

Cuadro II. 2. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Al μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1} PMS				
0	26.95 \pm 0.52 a	1.96 \pm 0.06 a	12.85 \pm 1.00 a	5.39 \pm 0.17 a	2.79 \pm 0.08 a
10	27.06 \pm 0.10 a	1.92 \pm 0.01 a	14.20 \pm 0.57 a	5.31 \pm 0.01 a	2.65 \pm 0.01 a
30	24.50 \pm 1.55 a	1.85 \pm 0.03 a	13.24 \pm 1.03 a	5.53 \pm 0.06 a	2.83 \pm 0.01 a
50	24.26 \pm 1.42 a	1.81 \pm 0.01 a	14.17 \pm 0.67 a	5.71 \pm 0.01 a	2.67 \pm 0.01 a

Medias \pm DE con las mismas literales entre columnas, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro II. 3. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tallo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Al μ M]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ PMS				
0	20.06 \pm 0.86 a	3.07 \pm 0.06 a	26.72 \pm 5.60 a	7.41 \pm 0.30 a	5.90 \pm 0.04 a
10	18.90 \pm 0.70 a	2.83 \pm 0.02 a	29.82 \pm 4.95 a	7.71 \pm 0.22 a	5.66 \pm 0.05 a
30	19.36 \pm 0.20 a	2.84 \pm 0.12 a	28.13 \pm 3.38 a	7.02 \pm 0.10 a	5.95 \pm 0.20 a
50	20.18 \pm 0.44 a	2.51 \pm 0.19 a	23.46 \pm 3.09 a	6.30 \pm 0.47 a	5.03 \pm 0.29 a

Medias \pm DE con las mismas literales entre columnas, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro II. 4. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en raíz de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Al μ M]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ PMS				
0	12.48 \pm 0.44 a	2.50 \pm 0.01 b	11.34 \pm 0.10 a	5.53 \pm 0.07 a	6.35 \pm 0.05 a
10	11.90 \pm 0.35 a	2.19 \pm 0.09 c	9.55 \pm 0.55 b	5.39 \pm 0.17 a	5.64 \pm 0.22 b
30	13.41 \pm 0.26 a	2.80 \pm 0.03 a	10.77 \pm 0.23 ab	5.61 \pm 0.02 a	6.35 \pm 0.03 a
50	15.75 \pm 1.97 a	2.24 \pm 0.04 bc	12.02 \pm 0.09 a	5.86 \pm 0.06 a	6.16 \pm 0.01ab

Medias \pm DE con letras distintas entre columnas, indican que existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Como se puede observar en la **Figura II.7; subfiguras A, B, C, D, E y F**, el efecto del aluminio en la concentración de micronutrientos es más evidente que la observada para macronutrientos. Para el caso de las hojas, Fe, Cu y B aumentan sus concentraciones por efecto el aluminio. Sin embargo, la concentración de Mn disminuyó con los tres tratamientos. Por su parte, Al se translocó a hojas con los tratamientos 30 y 50 μ M.

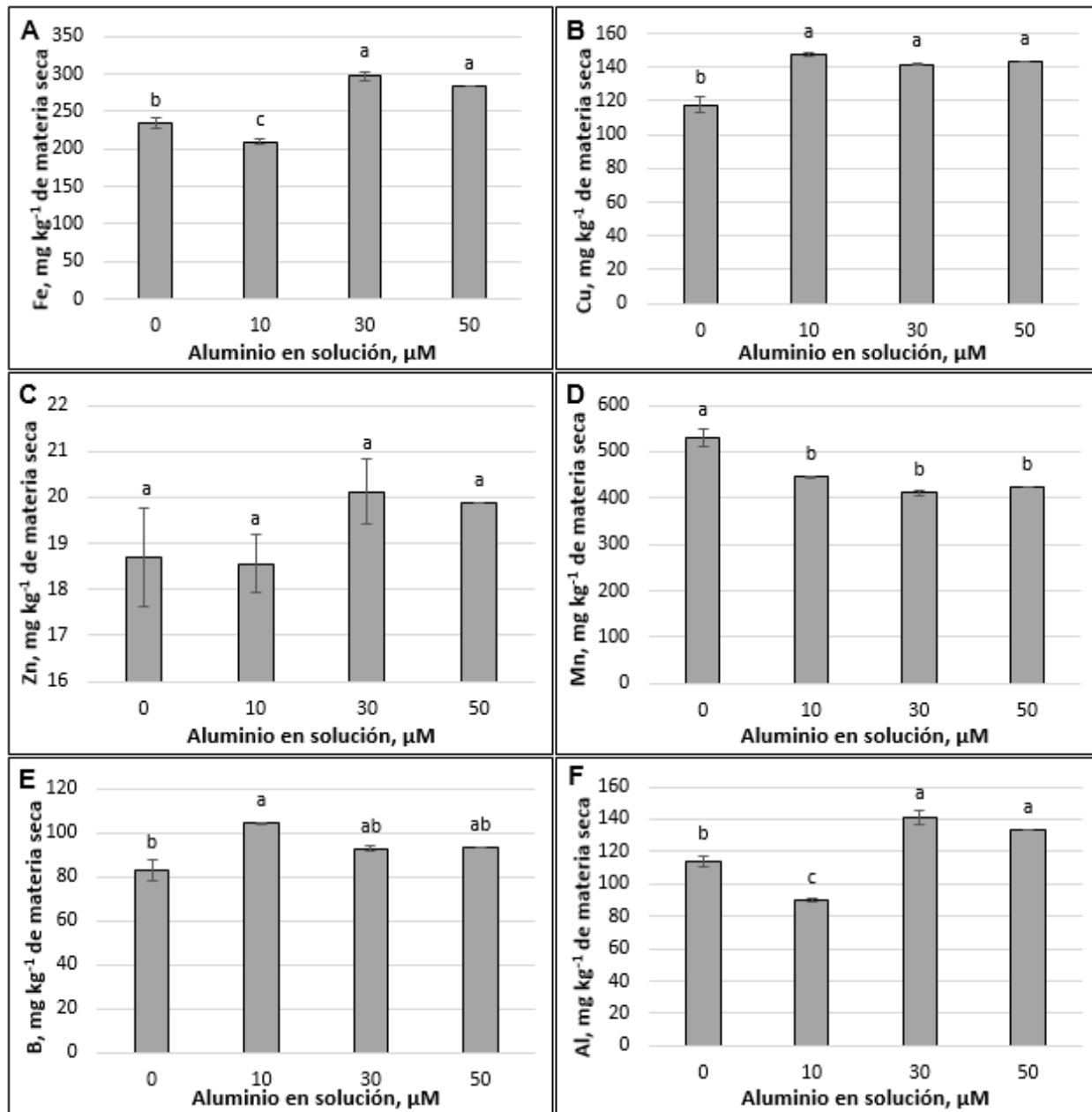


Figura II. 7. Concentración de micronutrientos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Al en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva. Medias ± DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Por otro lado, respecto a la concentración de micronutrientes en tallos (**Figura II.8; subfiguras A, B, C, D, E y F**), ninguno de los tratamientos aumentó la concentración de Fe, Cu, Zn, Mn y B en este órgano de la planta, si no que se comportaron de manera similar al control o presentaron antagonismo al Al. En este caso Al se translocó a tallo con los tratamientos 10 y 30 μM .

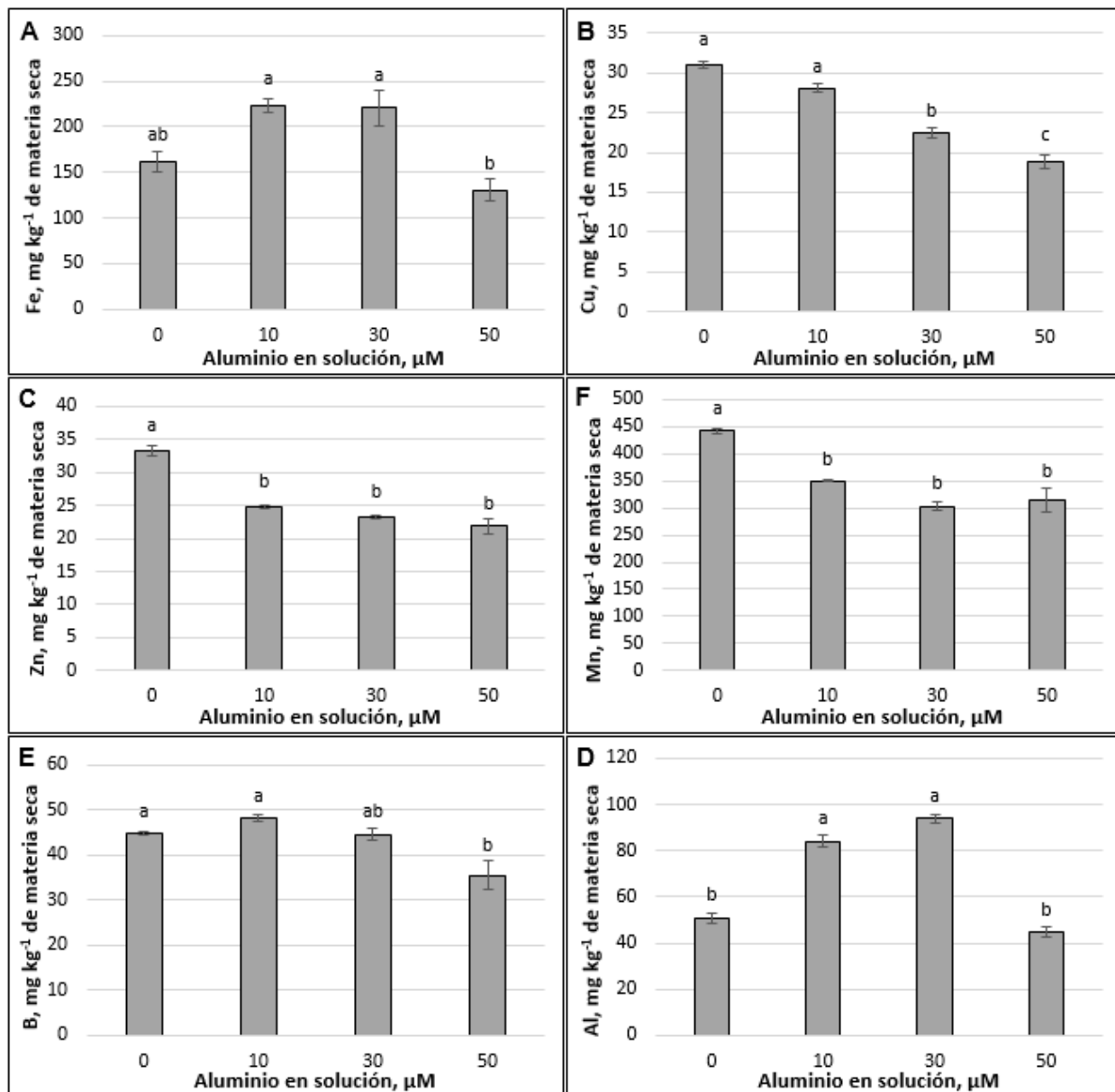


Figura II. 8. Concentración de micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Al en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En la **Figura II.9 (Subfiguras A, B, C, D, E y F)** se aprecian las concentraciones de micronutrientes en raíz, en lo que se refiere a Fe, Cu, Zn y B, éstos no se beneficiaron con las diferentes dosis de aluminio suministradas, ya que el estudio indica que las concentraciones son igual o menores respecto al control. Mg si presentó una mayor concentración con el tratamiento 50 μM respecto a las plantas testigo.

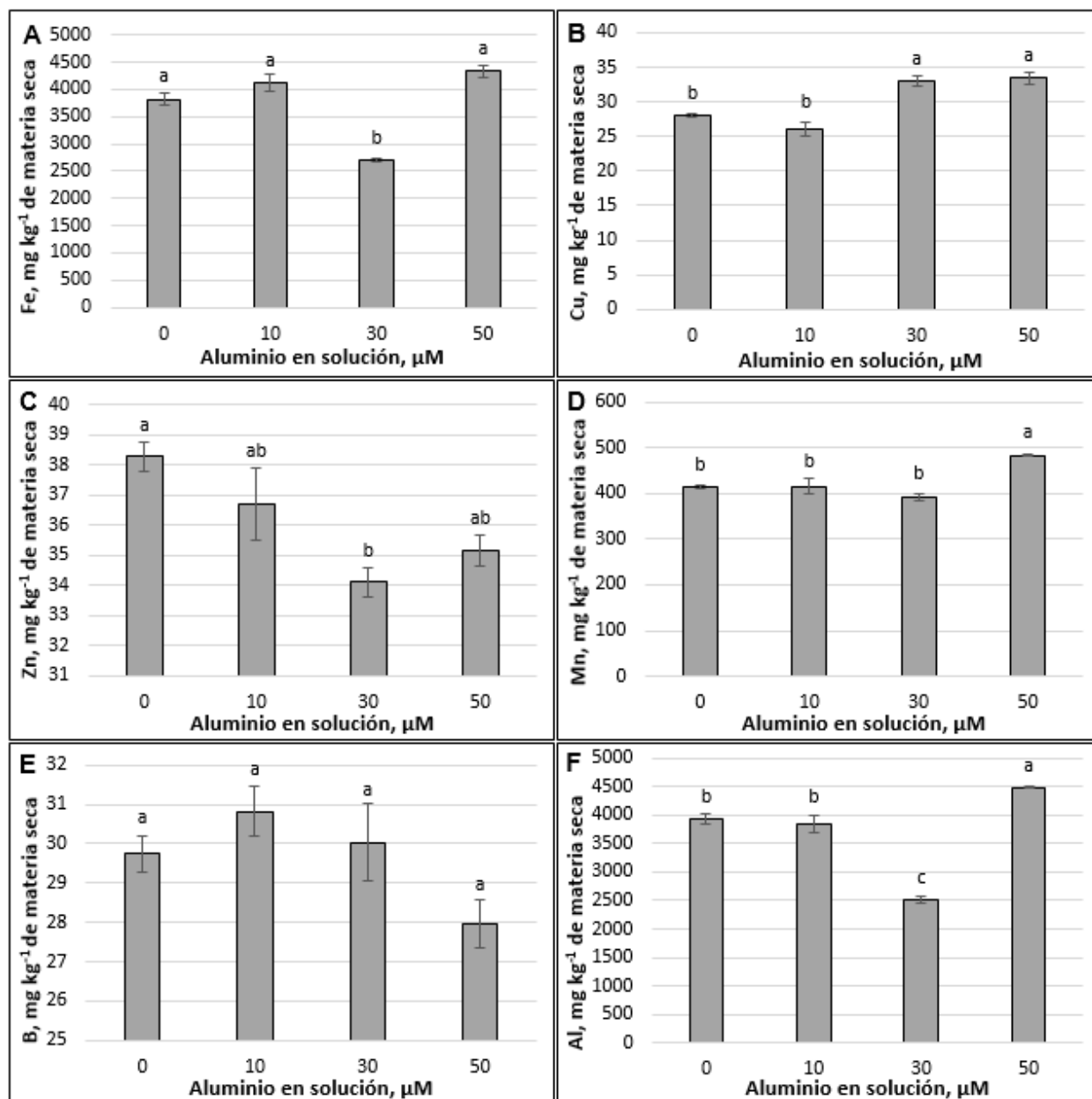


Figura II. 9. Concentración de micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Al en raíces de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Como se observó en los resultados anteriores, el aluminio no afecta de manera general, la concentración de macronutrientes y micronutrientes en las plantas de heliconia Adrian aún a concentraciones bajas. Estos resultados son positivos, dado que en varias especies se ha reportado que la presencia de Al en el medio de crecimiento fomenta deficiencias de macronutrientes, como por ejemplo, N y P afectan principalmente el desarrollo de tallos, la producción de biomasa seca de la hoja, el número total de hojas y área foliar (Ribeiro de Castro *et al.*, 2015).

El aluminio es un gran competidor del Ca, ya que tiene preferencia por donantes de electrones que contienen O₂, así también, aluminio al bloquear los canales de calcio en la membrana plasmática evita la entrada de calcio al simplasma; aluminio también reduce la absorción de K y de NO₃⁻ (Garzón, 2003; Rengel y Zhang, 2003).

El aluminio también causa desorden nutricional en algunas plantas al estar expuestas a altas concentraciones, disminuyendo así la concentración de ciertos elementos. En los resultados obtenidos de esta investigación, el aluminio incrementó la concentración principalmente de algunos micronutrientes aunque por alguna razón también disminuyó la concentración de otros. Garzón (2003) dice que la disminución de la absorción de cationes se debe a la inhibición del crecimiento radicular, ya que cationes como el K⁺ cuya acumulación contribuye a la expansión celular se afecta su absorción al haber aluminio en el medio, esta inhibición de nutrientes depende de cada especie en estudio. Los contenidos de N, K, Mg, Fe y Mn permanecen casi inalterados y el contenido de P y Ca es muy afectado en tratamientos que contienen aluminio. En esta investigación, en los tratamientos que contenían aluminio en solución, los macronutrientes no se vieron afectados respecto al control, sin embargo si hubo variaciones en cuanto a la concentración de micronutrientes.

Liu y Luan (2001), de acuerdo a su investigación mencionan que la inhibición de la absorción de potasio es proporcional a la concentración de aluminio aplicada, por ejemplo, una concentración de 10 µM de aluminio es capaz de inhibir el 50% de la absorción de potasio, de la misma forma, al suministrar una concentración de 50 µM inhibe la absorción de potasio un 79%, comparando con esta investigación, el K en hojas y tallo, no se vio alterado por ninguno de los tratamiento que contenían Al, sin embargo, en raíz este disminuyó con la concentración 10 µM.

La concentración de P en plantas de heliconia Adrian, disminuyó con la dosis 10 μM y aumentó con 30 μM . Facanha *et al.* (2002) en su estudio en plantas de maíz con fluoruro de aluminio, dice que éstos aumentan la concentración de fosfato.

Lazoft *et al.* (1996) usaron espectrometría de masas para demostrar que el aluminio se acumula en las células de la capa externa de la raíz y que la planta absorbe a éste en los primeros 30 minutos de ser expuesta. Por su parte, Garzón (2003) menciona que entre un 30 y un 90% del total del aluminio es absorbido y se citúa en el apoplasto, de esta manera afecta algunas plantas no tolerantes o sensibles a aluminio.

Se han realizado múltiples investigaciones sobre el papel que desempeña el aluminio como elemento benéfico en la absorción de elementos esenciales en plantas, por ejemplo, Watanave *et al.* (2005), estudiaron el efecto del Al y el papel del citrato en la acumulación de este elemento en la planta *Melastoma malabathricum*, y reportaron que cuando se combinan los nutrimentos con el Al, se mejora el desarrollo de raíz y el crecimiento de la planta.

El Al también retarda la senescencia en flor de corte, como en la rosa “Cherry Brandy”, que al ser tratadas con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ aumenta significativamente la vida de florero y mejora la calidad poscosecha, ya que mantiene el peso fresco de la flor y se aumenta el contenido de la clorofila en las hojas (Jowkar *et al.*, 2012); por su parte Seyf *et al.* (2012), demostraron que una solución del mismo compuesto con una concentración de 150 y 300 mg L^{-1} aplicado a rosas cv. Boeing, ampliaron la vida de florero de 9 a 12 y 12.3 días respectivamente, y aumentaron el diámetro de la flor comparado con plantas testigo.

Por otra parte, la aplicación de 150 mg L^{-1} de sulfato de aluminio a flores de *Eustoma grandiflorum* prolongó la vida en florero de 8 a 15 días, además de que el peso fresco siguió aumentando hasta 8 días después del inicio del experimento (Li-Jen *et al.*, 2000).

Mohammadi *et al.* (2012), reportaron que concentraciones de 50 y 100 mg L^{-1} de sulfato de aluminio, incrementan la vida de florero de tuberosa (*Polianthes tuberosa* cv. ‘Single’) a 11.5 y 12 días, respectivamente. Derivado de lo anterior se concluye que el Al tiene un gran potencial como retardante de la senescencia en flor de corte y además otorga calidad a las mismas.

En plantas medicinales como la manzanilla (*Matricaria chamomilla*), la aplicación de 60 μM de aluminio, aumenta el contenido de fenoles solubles y flavonoides en brotes y aminoácidos libres en las raíces, debido al exceso de este elemento (Kováčik *et al.*, 2010).

En plantas de soya (*Glycine max* L.) expuestas a 1.0 μM de Cd y a 150 μM de Al en un pH de 4.0, el contenido de malondialdehído (MDA) y la actividad de las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y peróxidasa (POD) aumentan, lo que demuestra que Cd y Al son sinérgicos (Shamsi *et al.*, 2008).

La aplicación de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y sacarosa al 8%, incrementan la calidad y la durabilidad de tallos de rosa cv. Maroussia en postcosecha (Teyebe *et al.*, 2013).

Así mismo, De la Cruz-Guzmán *et al.* (2007), indican que el tratamiento con 0.6 g $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ L}^{-1}$, en rosa cv. Royalty, reduce la pérdida de peso fresco en vida de florero.

Por tanto, el aluminio aunque considerado un metal tóxico aún en bajas concentraciones y muy abundante principalmente en suelos ácidos, se está demostrando que también desempeña un papel importante en cuanto a calidad en el área ornamental.

II.6. CONCLUSIONES

El efecto del cloruro de aluminio en heliconia Adrian aplicado a la solución nutritiva, no influyó de manera negativa en el crecimiento de éstas y en el índice de verdor de la hoja.

Si bien, no hubo efectos de los tratamientos con aluminio en la concentración de macronutrientes en los distintos órganos de las plantas, si hubo incrementos en la concentración de micronutrientes en ésta. Sin embargo, en alguno de los tres tratamientos estudiados se presentaron ciertos antagonismo de Al con algunos micronutrientes.

II.7. LITERATURA CITADA

- Casierra-Posada, F., J. Cárdenas-Hernández. 2009. Crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L. var. Porva) en solución nutritiva con baja relación (Ca+Mg+K)/Al. Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica. 12: 91-100.
- Casierra-Posada, F., O. E. Aguilar-Avenidaño. 2007. Stress for aluminum in plants: reactions in the soil, symptoms in plants and amelioration possibilities. A review. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 1: 246-257.
- Chapman, H. D., P. F. Pratt. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas, México. 195 p.
- De la Cruz-Guzmán, G. H., A. Arriaga-Frías, M. Mandujano-Piña, J. B. Elías-Arias. 2007. Efecto de tres preservadores de la longevidad sobre la vida postcosecha de Rosa cv. Royalty. Revista Chapingo Serie Horticultura. 13: 109-113.
- Dong, B., W.L. Sang, X. Jiang, J.M. Zhou, F.X. Kong, W. Hu, L. S. Wang. 2002. Effects of aluminum on physiological metabolism and antioxidant system of wheat (*Triticum aestivum* L.). Chemosphere. 47: 87-92.
- Facanha, A. R., A. L. Okorokova-Facanha. 2002. Inhibition os phosphate uptake in corn roots by aluminium-fluoride complexes. Plant Physiology. 129: 1763-1772.
- Gallardo, A. F., M. Pino B., M. Alvear Z., F. Borie F. 2005. Efecto del aluminio en la producción de materia seca y en la actividad nitrato reductasa de dos variedades de trigo, creciendo en soluciones nutritivas. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 5: 30-36.
- Garzón, L. T. 2003. Estudio del comportamiento celular en plantas modelo sometidas a estrés por aluminio. Tesis doctoral inédita. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Jowkar, M. M., M. Kafi, A. Khalighi, N. Hasanzadeh. 2012. Evaluation of aluminum sulfate as vase solution biocide on postharvest microbial and physiological properties of 'Cherry Brandy' rose. Annals of Biological Research. 3: 1132-1144.

- Kidd, P. S., J. Proctor. 2000. Effects of aluminium on the growth and mineral composition of *Betula pendula* Roth. *Journal of Experimental Botany*. 51: 1057-1056.
- Kováčik, J., B. Klejdus, J. Hedbavny. 2010. Effect of aluminium uptake on physiology, phenols and amino acids in *Matricaria chamomilla* plants. *Journal of Hazardous Materials*. 178: 949-955.
- Lazoft, D. B., J. Goldsmith G., R. Linton W. 1996. The in situ analysis of intracellular aluminium in plants. *Progress in Botany*. 58: 112-149.
- Li-Jen, L., L. Yu-Han, H. Kuang-Liang, C. Wen-Shaw. 2000. Vase life of *Eustoma grandiflorum* as affected by aluminium sulfate. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 42: 35-38.
- Liu, K., Luan, S. 2001. Internal aluminium block of plant inward potassium channels. *Plant Cell*. 13: 1453-1466.
- Mohammadi, M., D. Hashemabadi, B. Kaviani. 2012. Improvement of vase life of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* cv. 'Single') with aluminum sulfate. *Annals of Biological Research*. 3: 5457-5461.
- Potdar, M. V., K. R. Pawar. 1991. Non-destructive leaf area estimation in banana. *Scientia Horticulturae*. 45: 251- 254.
- Rengel, Z., Zhang, W. H. 2003. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminium-toxicity syndrome. *New Phytologist*. 159: 295-314.
- Ribeiro de Castro, A. C., L. Gomes W., V. Loges, M. F. Arruda de C., F. A. Souza de A. 2015. Macronutrients deficiency in *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* "Golden Torch". *Revista Ciencia Agronomica*. 46: 258-265.
- Seyf, M., A. Khalighi, Y. Mostofi, R. Naderi. 2012. Study on the effect of aluminum sulfate treatment on postharvest life of the cut rose 'Boeing' (*Rosa hybrida* cv. Boeing). *The Journal of Horticultural Science*. 16: 128-132.

- Shamsi, I. H., K. Wei, G.P. Zhang, G.H. Jilani, M. J. Hassan. 2008. Interactive effects of cadmium and aluminum on growth and antioxidative enzymes in soybean. *Plant Biology*. 52: 165-169.
- Teyebe, B., F. Sakine, A. N. Mohammad, H. A. Mohammad. 2013. The effect of chemical treatments on cut flower longevity of *rosa hybrid* cultivar Maroussia. *International Journal of Agronomy & Plant Production*. 4: 450-453.
- Trejo-Téllez, L. I., F. C. Gómez-Merino, G. Alcántar-González. 2007. Elementos benéficos. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 59-101.
- Watanabe, T., S. Jansen, M. Osaki. 2005. The beneficial effect of aluminium and the role of citrate in Al accumulation in *Melastoma malabathricum*. *New Phytologist*. 165: 773-80.

CAPÍTULO III. EL EFECTO DEL COBALTO EN *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

III.1. INTRODUCCIÓN

El cobalto es ampliamente utilizado en la agricultura al igual que el molibdeno y es reconocido como un elemento benéfico; éste es considerado un elemento esencial para fijadores libres y simbióticos en el proceso de fijación biológica de nitrógeno atmosférico; interviene en el metabolismo de los carbohidratos y proteínas ya que está involucrado en diversos sistemas enzimáticos en plantas superiores. Es absorbido por las plantas en forma de Co^{2+} y se transporta específicamente por el flujo transpiratorio, y se acumula por lo regular en las puntas y márgenes de las hojas (Ortega y Malavolta, 2012).

La absorción de cobalto por las plantas puede ser limitada por la presencia de humus y de altas concentraciones en el suelo (Trejo-Téllez *et al.*, 2013).

La concentración de Co en la materia seca de plantas superiores normalmente oscila entre 0.1 y 10 ppm, aunque las plantas hiperacumuladoras de las familias Lamiaceae, Scrophulariaceae, Asteraceae y Fabaceae pueden acumular más de 1000 ppm de este elemento en hojas. En plantas superiores, el Co se adhiere fuertemente a las raíces y es absorbido de la solución del suelo a través de transporte pasivo. Dado que el Co muestra similitud química con el níquel (Ni), es posible que los dos elementos entren a la célula a través de los mismos tipos de acarreadores de membrana (Chen *et al.*, 2009).

Por otro lado, Baxter *et al.* (2008) mostraron que la concentración de Co aumenta en condiciones de insuficiencia de Fe, dado que Co puede competir con Fe por los sitios activos del transportador IRT1. De hecho, Gad (2012) probó que el suministro de Co disminuye significativamente el contenido de Fe en semillas de cacahuate (*Arachis hypogaea*), y que por tanto, ambos elementos son antagónicos y compiten por los mismos transportadores.

El Co es un componente de la cobalamina (vitamina B12), la cual es necesaria para activar enzimas relacionadas con la fijación de N en microorganismos simbióticos (Palit *et al.*, 1994).

Los efectos beneficiosos de cobalto incluyen retraso de la senescencia, por ejemplo en flor de corte clavel, aumento de la resistencia a la sequía en las semillas, la regulación de la acumulación de alcaloides en las plantas medicinales y la inhibición de la biosíntesis de etileno (Palit *et al.*, 1994; Babak y Majid, 2011).

Si bien, se han realizado investigaciones en distintas especies de plantas, en las cuales se han observado efectos favorables del Co, en particular en heliconias no hay datos al respecto.

En esta investigación se abordarán temas sobre el papel del cobalto en el cultivo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian, la forma en que bajas concentraciones impactan en su desarrollo fisiológico y en la absorción de nutrimentos.

III.2. OBJETIVOS

III.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del cobalto adicionado a la solución nutritiva de Steiner aplicada a plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian en condiciones de hidroponía, para medir su impacto en indicadores fisiológicos (diámetro y altura del tallo, unidades SPAD, hojas torales y área foliar) y concentración nutrimental.

III.2.2. Objetivos específicos

- Medir el efecto del Co sobre indicadores de crecimiento de heliconia Adrian (número de hojas, diámetro y altura del tallo, área foliar y unidades SPAD).
- Determinar las concentraciones de macronutrimentos y micronutrimentos en diferentes tejidos de las plantas, por efecto de la aplicación de Co en la solución nutritiva de Steiner.

III.3. HIPÓTESIS

III.3.1. Hipótesis general

- Al adicionar cantidades bajas de cobalto (0.75, 1.5 y 2.25 μM) a la solución nutritiva, las plantas de heliconia Adrian presentan cambios fisiológicos e incrementan la absorción de nutrimentos.

III.3.2. Hipótesis específica

- Los indicadores de crecimiento como diámetro y altura de la planta, número de hojas y área foliar, incrementan con las dosis de Co aplicadas.
- Con las concentraciones suministradas de Co, aumenta la absorción de nutrimentos en hoja, tallo y raíz, modificando a la vez el desarrollo fisiológico de la planta.

III.4. MATERIALES Y MÉTODOS

III.4.1. Material biológico

Se utilizaron rizomas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian recolectados de las plantaciones del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, ubicado a 650 m de altitud, 18° 50" latitud norte 96° 51" longitud oeste, 18.4 °C de temperatura media anual y 78% de HR.

III.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra

Una vez que los rizomas se extrajeron de los terrenos de cultivo, se lavaron con suficiente agua corriente para quitarles el exceso de tierra, después se desinfectaron de la siguiente manera: se lavaron durante un minuto con agua esterilizada, se sumergieron por un minuto en una solución con cloro al 2%, se lavaron nuevamente por 5 min con agua destilada, posteriormente se sumergieron con una solución fungicida sistémica (2 mL L⁻¹ de agua) Lannate® (Ingrediente activo: Metomilo: S-Metil-N metilcarbamoil oxi tioacetamidato).

III.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual se cernió (diámetro de partícula de 0.5 a 1.5 cm), se lavó y se esterilizó en un autoclave a 1.2 libras, a 120 °C durante 15 min en bolsas de polietileno de 60 x 40 cm. Posterior a la esterilización se llenaron bolsas de polietileno de 20 x 25 cm con el tezontle, los tallos de los rizomas se cortaron a 25 cm de altura aproximadamente desde la base. Una vez desinfectados se sembraron 2 tallos por bolsa y se regaron cada tercer día con agua esterilizada durante 12 semanas.

III.4.4. Localización del experimento

Las plantas se trasladaron a un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el km 36.5 Carretera México-Texcoco, localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altitud de 2250 m.

III.4.5. Solución nutritiva y el cobalto

Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner a niveles crecientes (10, 20 y 50 %). El pH se ajustó a un rango de 5.0 a 5.8 con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%. Se regaron por las mañanas, a cada planta se suministraron entre 200 y 300 mL de solución junto con cobalto como el elemento benéfico.

Durante la fase inicial que abarcó tres semanas, se utilizó la solución universal a una concentración del 10%, las siguientes dos semanas (semanas cuarta y quinta) se concentró al 20% y a partir de la sexta semana se preparó la solución al 50% hasta la cosecha del experimento en la semana 12 después de iniciar los tratamientos. En el **Cuadro III.1** se presentan las fuentes empleadas en la preparación de las soluciones nutritivas.

A estas soluciones se les adicionó niveles crecientes de cobalto a concentraciones bajas (0.75, 1.5 y 2.25 µM). La fuente de Co fue cloruro de cobalto (CoCl₂ 6H₂O) grado reactivo.

Cuadro III. 1. Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientos utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.

Fuente	Fórmula
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fosfato de potasio	KH_2PO_4
Nitrato de potasio	KNO_3
Sulfato de potasio	K_2SO_4
Tradecorp AZ®	Fe-EDTA, Mn-EDTA, Zn-EDTA, Cu-EDTA, B y Mo

III.4.6. Cosecha del experimento

Las plantas se cosecharon a los 76 días de experimentación con cobalto en la solución nutritiva en hidroponía. En diferentes fechas se tomaron las variables de crecimiento. Al finalizar el experimento las plantas fueron extraídas del tezontle (**Figura III.1**), se lavaron, se seccionaron por órgano y se pesaron, así también se estimó el área foliar de las hojas.



Figura III. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas durante 76 días con diferentes concentraciones de Co en la solución nutritiva.

III.4.7. Variables evaluadas

III.4.7.1. Indicadores de crecimiento

Estas variables se midieron cada quince días, y en total se obtuvieron cinco mediciones durante toda la fase experimental.

Altura de la planta. Ésta se midió con un vernier digital marca Truper®, colocando la varilla para medir profundidad sobre la base de la planta al nivel del tezontle hasta la base donde se desarrolla la nueva hoja.

Diámetro del tallo. Esta variable se midió con el vernier digital justo a media altura de la planta.

Número de hojas. Se contabilizaron todas las hojas las cuales ya estaban bien desarrolladas.

Unidades SPAD. El índice de verdor de las hojas se realizó con el medidor portátil SPAD-502 marca Minolta®, eligiendo una hoja recientemente madura en cada repetición en la cual se realizaron tres lecturas SPAD y se determinó el promedio.

Área foliar. Se midió largo y ancho de las hojas y se estimó el área foliar de acuerdo al método descrito por Potdar y Pawar (1991). Esta variable también se estimó una vez cosechadas, mediante el medidor de área foliar LI-3100C Area Meter.

Peso fresco. Posterior a la cosecha también se determinó el peso fresco de los diferentes órganos, raíz, tallo y hoja. Esto se realizó con una balanza analítica marca Ohaus Mod. Adventurer Pro AV213C.

III.4.7.2. Análisis nutrimental

Las plantas fueron seccionadas en raíz, tallo y hojas y se secaron por separado en una estufa de aire forzado marca Riossa Mod. HCF-125D durante 72 h a una temperatura de 70 °C para obtener los pesos de biomásas secas. Una vez secas se trituraron para realizar los análisis correspondientes.

Nitrógeno total. La concentración de N total se determinó mediante la técnica Semimicro-Kjeldahl (Chapman y Pratt, 1973).

Análisis nutrimental. Se realizó una digestión húmeda diácida (ácidos nítrico y perclórico) para determinar P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Los digestados resultantes fueron filtrados previo a su lectura en un equipo de laboratorio de espectroscopia de emisión óptica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES 725).

III.4.8. Diseño experimental

El diseño consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos y de 7 a 8 repeticiones, los tratamientos fueron 0, 0.75, 1.5 y 2.25 μM de cobalto. La unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno de 20 x 25 cm con dos rizomas cada una.

III.4.9. Análisis estadístico de los datos

Los resultados tanto de indicadores de crecimiento como de análisis nutrimental se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

III.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.5.1. Indicadores de crecimiento

La altura y diámetro de tallo en plantas de heliconia Adrian durante la fase experimental tratadas con Co en la solución nutritiva, no mostraron diferencias estadísticas significativas (**Figuras III.2 y III.3**).

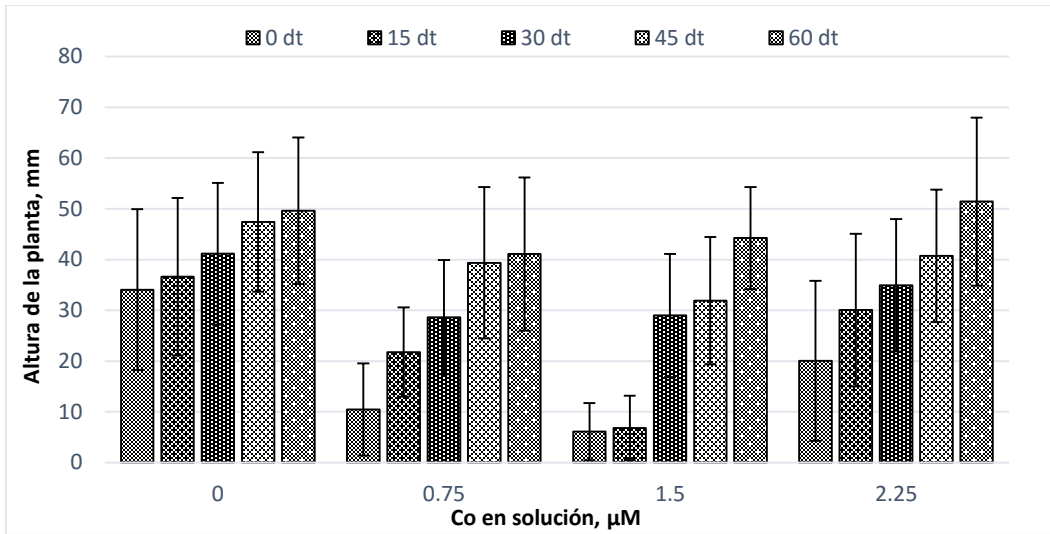


Figura III. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

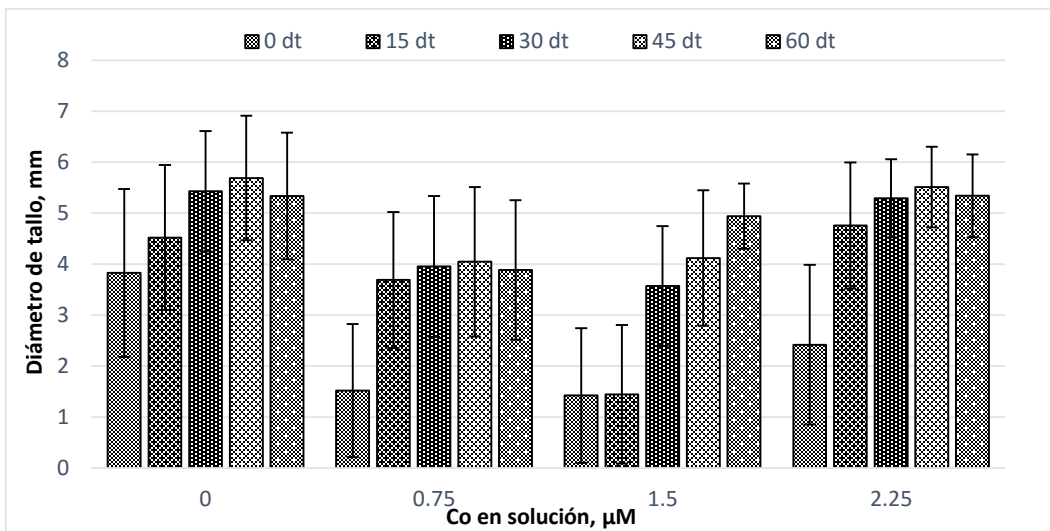


Figura III. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Al igual que en altura y diámetro de tallo en plantas de heliconia Adrian, la aplicación de las diferentes dosis de Co a la solución nutritiva no mostró efectos estadísticos significativos en número de hojas (**Figura III.4**).

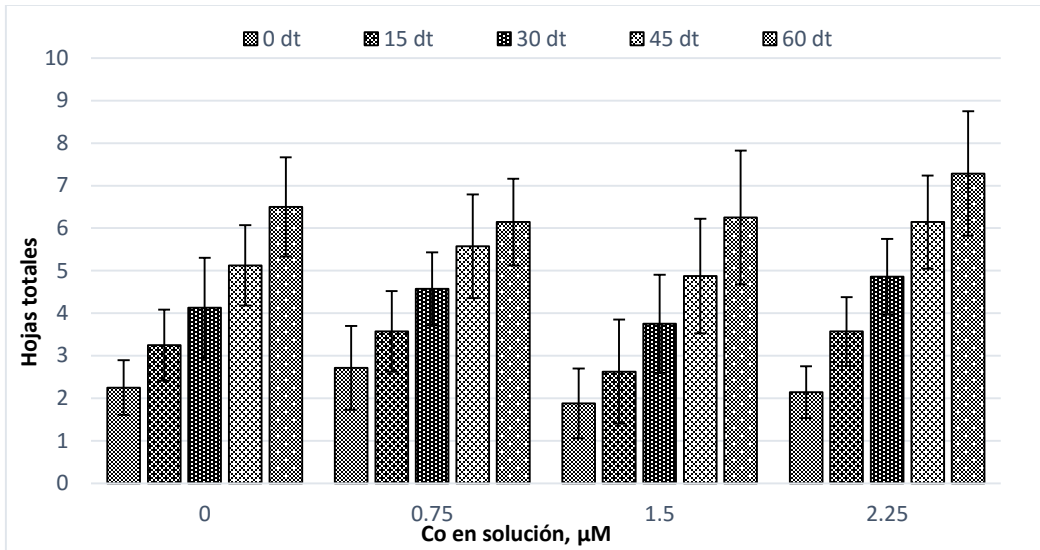


Figura III. 4. Hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Respecto a las unidades SPAD, se puede observar que Co no afectó estadísticamente esta variable en las fechas de medición evaluadas (**Figura III.5**).

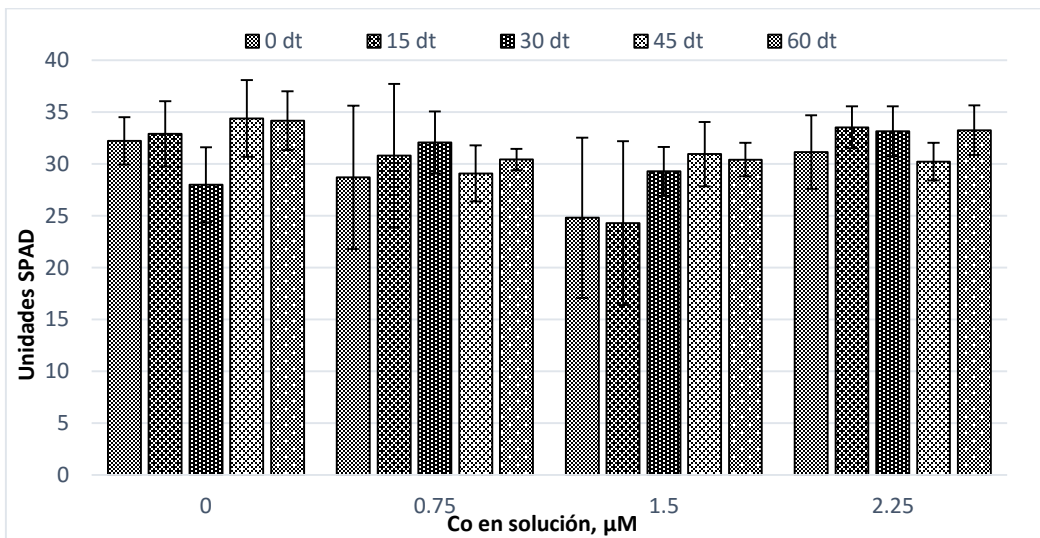


Figura III. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Aunque es evidente que a medida que la planta crece, el área foliar aumenta, sin embargo, ésta no muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos al adicionar cobalto a la solución nutritiva (**Figura III.6**).

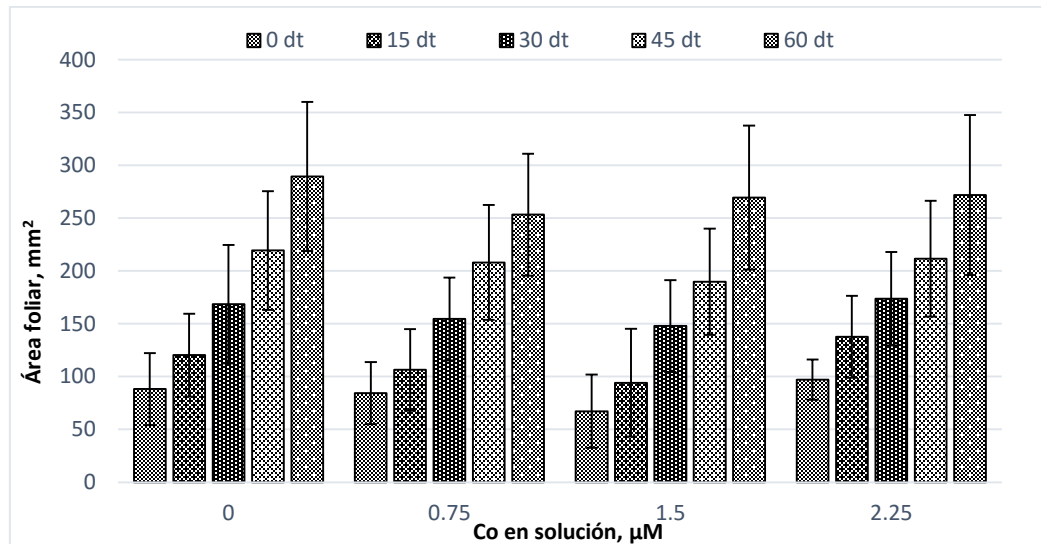


Figura III. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con cobalto en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Aunque hubo algunos incrementos en los parámetros de crecimiento, este elemento no ocasionó diferencias estadísticas significativas en esta investigación, sin embargo, algunos autores mencionan que el cobalto está relacionado con varios procesos en el crecimiento de la planta, uno de ellos es que el tallo de la planta crezca y el coleóptilo se alargue, ayudando a un crecimiento global de la planta y mayor disponibilidad para la absorción de CO_2 (Diez, 2014).

Algunos estudios se ha realizado con cobalto en el cultivo de ciertas especies, por ejemplo, en chícharo (*Pisum sativum*), la aplicación de 8 ppm de Co al suelo incrementó crecimiento, número y peso de nódulos, niveles de nutrimentos en planta, rendimiento y calidad de semillas, lo cual puede ser atribuido a la esencialidad del Co para las poblaciones *Rhizobium* que viven en las raíces de estas plantas (Gad, 2006).

A bajas concentraciones, el Co puede tener efectos benéficos, especialmente en leguminosas. Tal es el caso de cacahuate (*Arachis hypogaea*), Gad (2012) reportó que la aplicación de Co (8 ppm) aumentó significativamente indicadores de crecimiento y rendimiento.

Al aplicar cobalto en cacahuete con una fertilización de N al 100% se obtienen cifras altas en todos los parámetros de crecimiento, más que cuando se aplica N al 75 % (Gad, 2012).

También la aplicación de 0.21 kg ha^{-1} de cobalto a cacahuete, aumentó significativamente la altura de la planta, número de ramas y hojas, área foliar, peso seco de los brotes y rendimiento (Sowicki, 2000; Basu *et al.*, 2006a; Gad, 2012). En esta misma leguminosa, Jayakumar *et al.*, (2009) menciona que la aplicación de 50 mg de cobalto por kg de suelo aumenta el número de nódulos, el volumen de la raíz y su longitud, área foliar total, brotes y pigmentos fotosintéticos, clorofila b y el contenido total de clorofila.

Si bien, se ha demostrado que el cobalto tiene efectos positivos en algunas especies, puede también ser tóxico en otras, cuyos síntomas incluyen caída de las hojas, inhibición del reverdecimiento, venas descoloridas y el cierre prematuro de las hojas (Diez, 2014).

En el área ornamental hay más investigaciones, entre las cuales podemos citar que en tallos florales de lilys (*Lilium* sp.) tratados con soluciones preservantes que incluyeron Co, presentaron un incremento de la longevidad floral del cv. 'Star Fighter' de 61.1 y 44 % con 0.1 y 0.2 mM de Co, respectivamente, mientras que para el cv. 'Star Gazer' la concentración que favoreció el incremento de 19.7 % fue 0.1 mM de Co (Mandujano-Piña *et al.*, 2012). En tuberosa, la aplicación de cloruro de cobalto a una concentración de 300 mg L^{-1} favoreció la vida de florero (10.66 días), la absorción de agua (1.53 mL g^{-1} en peso fresco) y la reducción de la pérdida de peso en fresco (19.99 g); la aplicación de 400 mg L^{-1} aumentó el contenido de carotenoides en pétalos (0.40 g) y proteínas (31.10%) (Mohammadi *et al.*, 2012).

En flores de corte de margarita (*Argyranthemum* sp.), la aplicación de 1 y 2 mM de Co aumentó 5 días más la vida de florero, comparado con el control que solo contenía agua destilada (Kazemi, 2012). Co y Ni ($2.5 \text{ mM Co} + 2 \text{ mM Ni} + 2 \text{ mM de ácido salicílico con } 2.5\% \text{ de sacarosa}$) aumentan la vida en florero de lilys cv. 'Prato' debido a una mejora de la estabilidad de la membrana y la reducción de los daños de estrés oxidativo durante la senescencia de la flor. Además, estos elementos disminuyen la pérdida de antocianinas (Kazemi y Ameri, 2012).

Cuando se presentan síntomas de deficiencia de Co, se observa un color pálido en hojas que es muy uniforme, siendo más evidente en hojas viejas presentando un color amarillo, aunque

también podría presentarse la deficiencia mediante un enrojecimiento en hojas, tallos o peciolo (Diez, 2014).

III.5.2. Análisis nutricional

En los Cuadros III.2, III.3 y III.4 se observan las concentraciones de macronutrientes en hoja, tallo y raíz, respectivamente. Primeramente, en la concentración de macronutrientes en hojas, solo hubo un antagonismo de Co con Mg en la concentración 2.25 μM y se mantuvo sin efecto alguno en el resto de macronutrientes. Respecto a la concentración de N, P, K, Ca y Mg en tallo, Co no tuvo ningún efecto en esta variable. En raíz, el Co en la concentración más baja evaluada tuvo un efecto sinérgico en la concentración de Ca. En las concentraciones del resto de los macronutrientes en raíces, no se observaron diferencias entre los tratamientos con cobalto y el testigo.

Cuadro III. 2. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva.

Tratamiento [Co μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ PMS				
0	26.95 ± 0.53 a	1.96 ± 0.06 a	12.86 ± 1.01 a	5.39 ± 0.18 a	2.80 ± 0.09 a
0.75	31.50 ± 4.09 a	1.89 ± 0.02 a	12.84 ± 1.07 a	5.09 ± 0.01 a	2.68 ± 0.02 ab
1.25	27.18 ± 0.53 a	1.95 ± 0.02 a	16.02 ± 0.71 a	5.09 ± 0.07 a	2.69 ± 0.01 ab
2.25	35.12 ± 8.30 a	1.82 ± 0.02 a	14.82 ± 0.55 a	5.38 ± 0.07 a	2.51 ± 0.04 b

Medias ± DE con la distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro III. 3. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de aluminio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Co μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ PMS				
0	20.07 ± 0.86 a	3.07 ± 0.06 a	26.73 ± 5.59 a	7.42 ± 0.31 a	5.90 ± 0.05 a
0.75	22.52 ± 1.31 a	2.97 ± 0.07 a	20.22 ± 3.39 a	6.33 ± 0.18 a	5.68 ± 0.12 a
1.25	22.17 ± 0.44 a	3.18 ± 0.05 a	28.22 ± 0.90 a	7.01 ± 0.22 a	5.67 ± 0.07 a
2.25	23.80 ± 1.58 a	3.10 ± 0.11 a	26.77 ± 3.81 a	6.92 ± 0.19 a	5.57 ± 0.27 a

Medias ± DE con las mismas literales entre columnas, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro III. 4. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en raíces de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva.

Tratamiento [Co μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1} PMS				
0	12.48 \pm 0.44 a	2.51 \pm 0.02 a	11.34 \pm 0.10 a	5.53 \pm 0.08 b	6.36 \pm 0.06 a
0.75	11.43 \pm 2.09 a	2.49 \pm 0.13 a	9.87 \pm 0.59 a	6.21 \pm 0.06 a	6.28 \pm 0.30 a
1.25	11.90 \pm 0.30 a	2.41 \pm 0.06 a	10.52 \pm 0.20 a	5.72 \pm 0.14 b	5.97 \pm 0.03 a
2.25	13.10 \pm 0.28 a	2.16 \pm 0.03 a	10.78 \pm 0.03 a	5.57 \pm 0.05 b	5.59 \pm 0.09 a

Medias \pm DE con la distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En la **Figura III.7** se muestra la concentración de micronutrientos en hojas, en el caso de Fe, Zn y B (**Subfiguras A, C y E**, respectivamente) no hubo efecto alguno en los tratamientos con cobalto respecto al control, sin embargo, el cobalto a una concentración de 0.75 μM incrementa la concentración de Cu (**Subfigura B**); caso contrario ocurre con Mn, que con una concentración alta de Co (2.25 μM), donde se observa una disminución en su concentración (**Subfigura D**). No hubo translocación de cobalto a hojas.

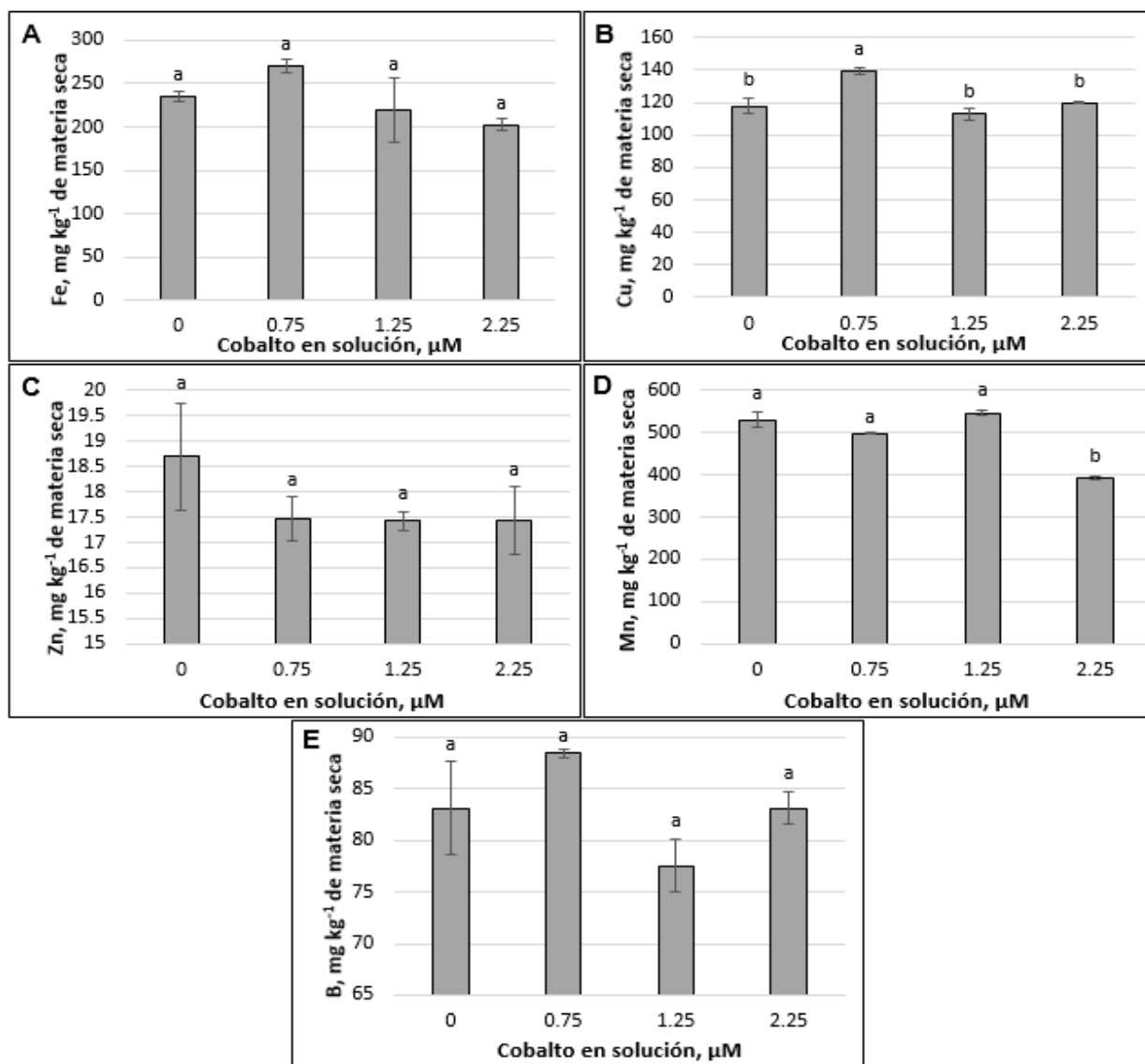


Figura III. 7. Concentración de microelementos Fe, Cu, Zn, Mn y B en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva. Medias ± DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

El cobalto no mostró efectos positivos en la concentración de micronutrientes en tallo (**Figura III.8; subfiguras A, B, C, D y E**), al contrario hubo un antagonismo de Co con Fe y Mn con el tratamiento 0.75 μM y 2.25 μM respectivamente (**Subfigura A y D**), sucedió lo mismo con Cu y Zn en los tres tratamientos (**Subfiguras B y C**). Al igual que en hojas, no hubo translocación de Co en tallo.

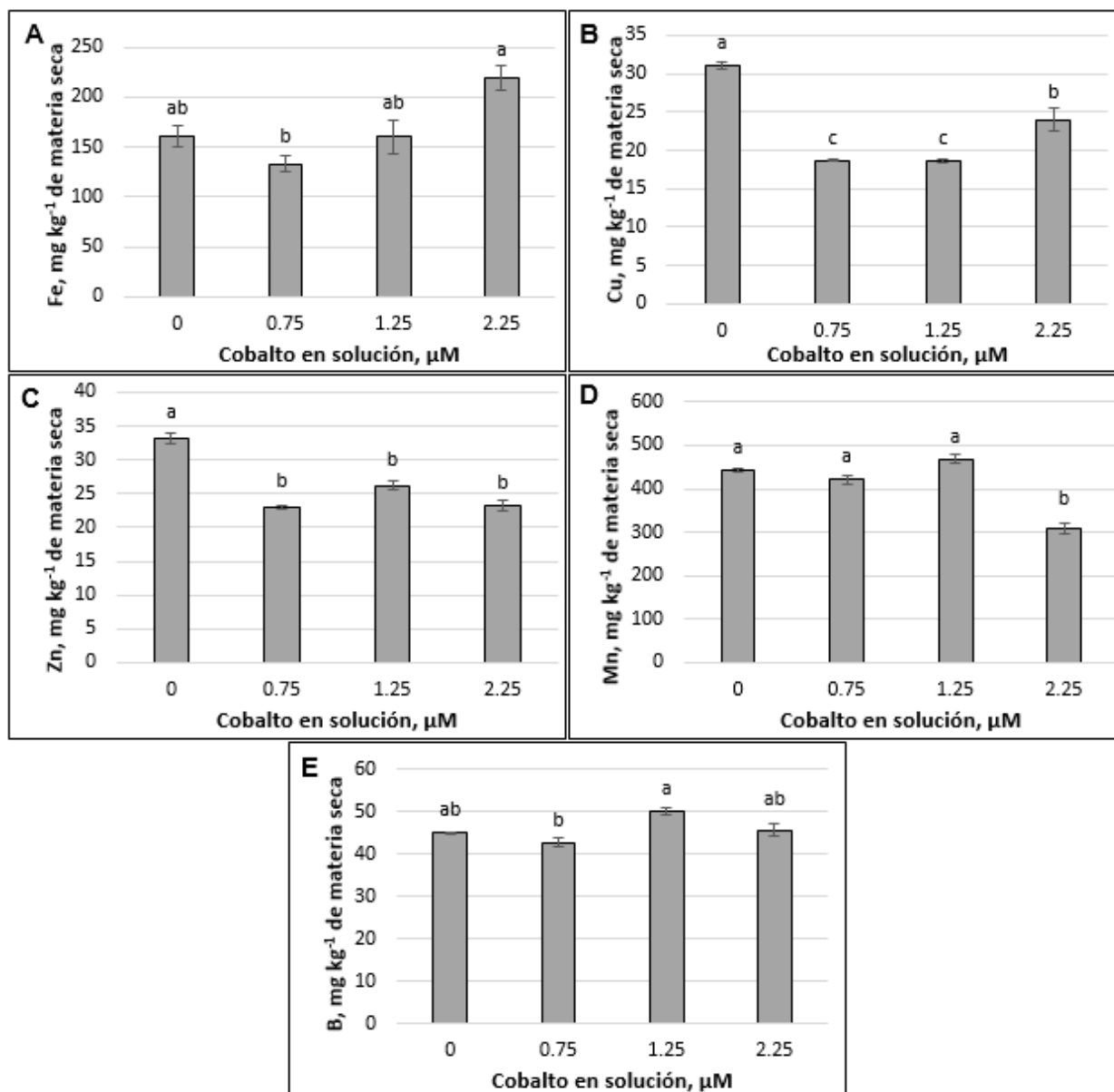


Figura III. 8. Concentración de microelementos Fe, Cu, Zn, Mn y B en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Las concentraciones de micronutrientes en raíz se muestran en la **Figura III.9**. Las concentraciones de Fe y Mn incrementan con el tratamiento de Co a una concentración de 1.25 μ M (**Subfiguras A y D**). Concentraciones altas de Co (2.25 μ M), por el contrario, reducen las concentraciones de Fe, Cu, Zn y Co en raíces (**Subfiguras A, B, C y F**). Para B (**Subfigura E**) no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

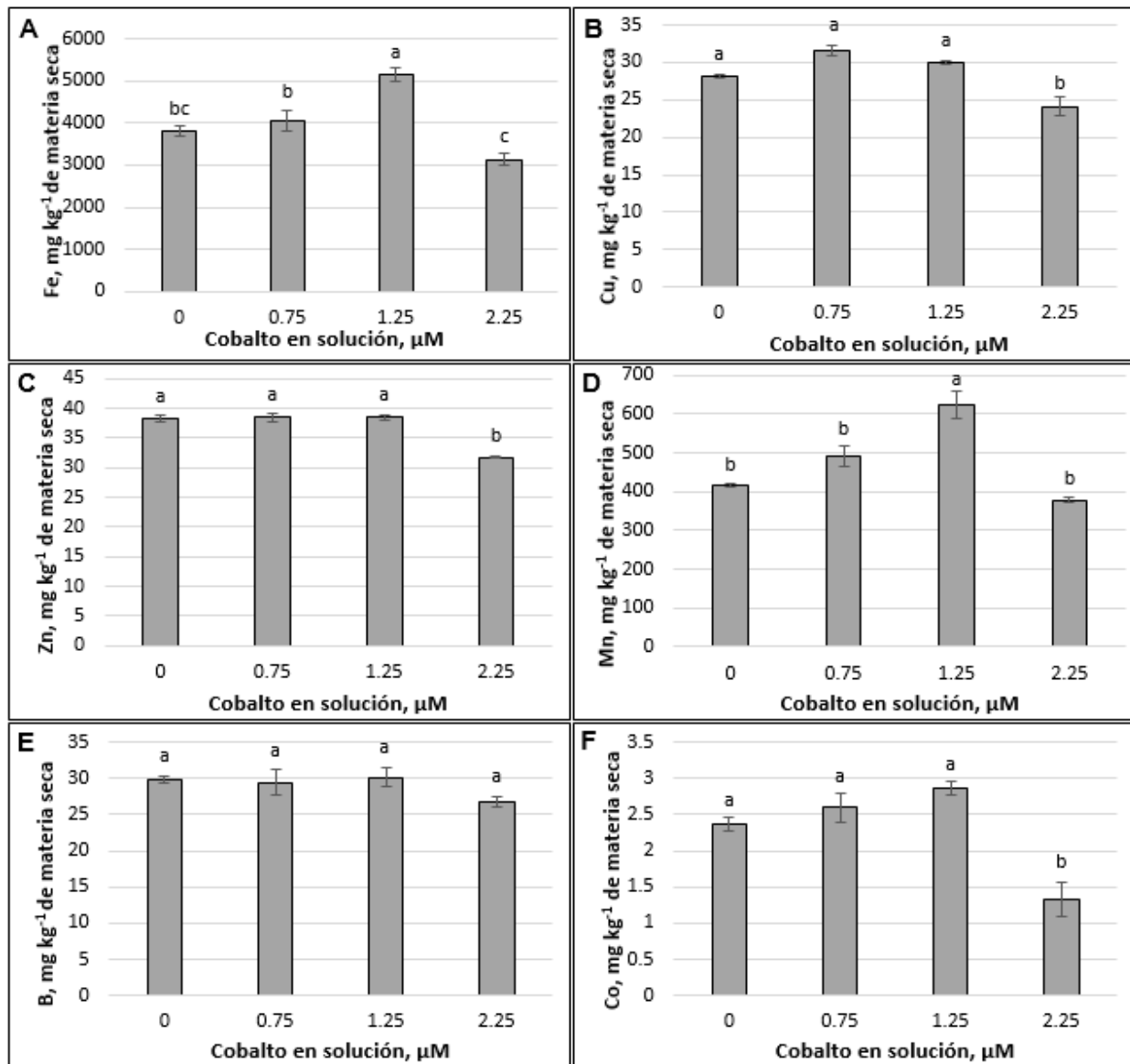


Figura III. 9. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Co en raíces de plantas *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de cobalto en la solución nutritiva. Medias ± DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Algunos efectos benéficos se han atribuido al cobalto en algunas especies, por ejemplo, en cacahuate, aumentó significativamente el contenido de N, P, K, Mn y Zn, cuando se mezcló con niveles al 100% y 75% de nitrógeno; por otro lado, este estudio revela que el aumento de la concentración de cobalto en el medio de cultivo, reduce en la planta el contenido de hierro, lo que se traduce como un antagonismo de Fe y Co (Gad, 2012).

El cobalto y el zinc también aumentaron la acumulación de manganeso en los brotes de frijol, el cual se cultivó durante tres semanas en un suelo calcáreo, que contenía suelo franco arcilloso y 2% de CaCO_3 (Talukder y Sharma, 2007).

Gad (2012), en su investigación menciona que al adicionar cobalto al suelo se ahorra hasta un 25% de nitrógeno, reduciendo así la contaminación ambiental y el gasto en fertilización para los agricultores.

En semilla de cacahuate el cobalto tuvo un efecto positivo en la concentración de N, P, K, Mn, Zn y Fe (Gad, 2012). En *Blackesleeana cunninghamella* Lendner, crecido en presencia de altas concentraciones de cobalto, se incrementó el contenido de azufre en los micelios, así mismo, su pared celular mostró concentraciones más altas de fosfato y quitosano, citrulina, y cistationina como las principales proteínas de la pared celular (Talukder y Sharma, 2007).

Gopal *et al.* (2003), menciona que en tomate cv. Pusa, la aplicación de dosis arriba de 0.5 mM, reduce la concentración de P, S y Fe, así como la clorofila a y b. Talukder y Sharma (2007), afirman que al tratar semillas de castaña de indias (*Aesculus hippocastanum* L.) en preseembra con nitrato de cobalto, se aumenta resistencia a la sequía.

Por otra parte, Abdul *et al.* (2009), aplicaron concentraciones de cobalto de 50, 100, 150, 200, 250 mg kg^{-1} de suelo, reportando que éstas inhiben la absorción y por tanto afectando la concentración de macro y micronutrientes en plantas de maíz (*Zea mays*). Al aplicar 16 mM de Co^{2+} a cultivo de cebada, la captación de cobre aumenta después de 2 h de tratamiento, caso contrario sucede después de las 24 h, a este tiempo de experimentación la concentración de este micronutriente empieza a disminuir (Talukder y Sharma, 2007). Basu *et al.* (2006b) en su estudio, mencionan que la absorción de N, P y K en cacahuate aumenta cuando se aplican 0.21 kg ha^{-1} de cobalto.

La senescencia de hojas de lechuga es retardada por cobalto, que actúa deteniendo la caída de clorofila, proteínas, ARN y, en menor medida, el ADN. Así mismo, la actividad de la ARNasa y proteasa se disminuyó, mientras que la actividad de la catalasa se incrementó (Talukder y Sharma, 2007).

III.6. CONCLUSIONES

La presencia de cobalto es muy importante para la producción continua de cultivos, independientemente del tipo de planta. Sin embargo, no todas las plantas toleran las mismas cantidades de Co, ya sea en el suelo o adicionado a alguna solución nutritiva. Aunque sin diferencias estadísticas significativas, en esta investigación, los parámetros de crecimiento se vieron favorecidos con la dosis más alta de cobalto (2.25 μM).

Si bien, los tratamientos que contenían cobalto en solución no alteraron la concentración de macronutrientes en las plantas de heliconia Adrian, si hubo diferencias significativas en la concentración de micronutrientes, efectos positivos con la concentración más baja de Co (0.75 μM) y surgieron antagonismos de micronutrientes con la concentración de Co más alta evaluada.

III.7. LITERATURA CITADA

- Abdul J. C., K. Jayakumar, Z. Chang-Xing, M. Iqbal. 2009. Low concentration of cobalt increases growth, biochemical constituents, mineral status and yield in *Zea Mays*. Journal of Scientific Research. 1: 128-137.
- Babak, J., R. Majid. 2011. Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. Journal of Environmental Sciences. 5: 147-152.
- Basu, M., P. B. S. Bhadoria, S. C. Mahapatra. 2006a. Influence of microbial culture in combination with micronutrient in improving the groundnut productivity under alluvial soil of India. Acta Agriculturae Slovenica. 87: 435-444.
- Basu, M., P. Mondal, A. Datta, T. K. Basu. 2006b. Effect of cobalt, *Rhizobium* and phosphobacterium inoculations on growth attributes of summer groundnut (*Arachis hypogaea* Linn). Environment and Ecology. 21: 813-816.
- Baxter, I. R., O. Vitek, B. Lahner, B. Muthukumar, M. Borghi, J. Morrissey, M. L. Guerinot, D. E. Salt. 2008. The leaf ionome as a multivariable system to detect a plant's physiological status. The National Academy of Sciences of the USA 105: 12081-12086.
- Chapman, H. D., P. F. Pratt. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas, México. 195 p.
- Chen, Z., T. Watanabe, T. Shinano, M. Okazaki, T. Shinano. 2009. Rapid characterization of plant mutants with altered ion-profile: a case study using *Lotus japonicus*. New Phytologist. 181: 795-801.
- Diez, R. 2014. Cobalt's role in plants. Consultado: 25/09/15 (Disponible en: <http://dyna-gro-blog.com/cobalts-role-in-plants/>).
- Gad, N. 2006. Increasing the efficiency of nitrogen fertilization through cobalt application to pea plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 2: 433-442.

- Gad, N. 2012. Role and importance of cobalt nutrition on groundnut (*Arachis hypogaea*) production. *World Applied Sciences Journal*. 20: 359-367.
- Gopal, R., B. K. Dube, P. Sinha, C. Chatterjee. 2003. Cobalt toxicity on growth and metabolism of tomato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34: 619-628.
- Jayakumar, K., C. Abdul J., M.M. Azooz, P. Vijayarengan, M. Gomathinayaga, R. Panneerselvam. 2009. Effect of different concentrations of cobalt on morphological parameters and yield components of soybean. *Global Journal of Molecular Sciences*. 4: 10-14.
- Kazemi, M., A. Ameri. 2012. Effect of Ni, Co, SA and sucrose on extending the vase-life of lily Cut Flower. *Iranica Journal of Energy and Environment*. 3: 162-166.
- Mandujano-Piña, M., Ma. T. Colinas-León, A. M. Castillo-González, I. Alía-Tejacal, L. A. Valdez-Aguilar. 2012. Cobalto como retardante de la senescencia de *Lilium* híbrido oriental en postcosecha. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 18: 239-252.
- Mohammadi, M., D. Hashemabadi, B. Kaviani. 2012. Effect of cobalt chloride on vase life and postharvest quality of cut tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *European Journal of Experimental Biology*. 2: 2130-2133.
- Ortega, A., E. Malavolta. 2012. Los más recientes micronutrientes vegetales. 16- 25. (Consultado: 23-julio-2015. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/232B901BB70122F985257A80005228D7/\\$FILE/16.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/232B901BB70122F985257A80005228D7/$FILE/16.pdf)).
- Palit, S., A. Sharma, G. Talukder. 1994. Effect of cobalt on plants. *Botanical Review*. 60: 149-181.
- Potdar, M. V., K. R. Pawar. 1991. Non-destructive leaf area estimation in banana. *Scientia Horticulturae*. 45: 251- 254.

- Sowicki, B., 2000. The influence of cobalt fertilization on quantity and quality of hay from dried meadow using various NPK doses. *Annals Universtatis Mariae Curie Sklodowsko Sectio-E. Agriculture*. 54: 97-104.
- Talukder, G., Sharma, A. 2007. Cobalt in: *Handbook of Plant Nutrition*, eds. A. V. Barker y D. J. Pilbeam (Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, LLC), 500-509.
- Trejo-Téllez, L. I., F. C. Gómez-Merino, G. Alcántar-González. 2013. Elementos benéficos. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 49-80.

CAPÍTULO IV. EL EFECTO DEL SELENIO EN *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

IV.1. INTRODUCCIÓN

En zonas seleníferas la mayoría de las especies vegetales contienen entre 1 y 10 ppm de selenio, en tanto que las llamadas plantas hiperacumuladoras (como los géneros *Stanleya* y *Astragalo*) pueden acumular de 1000 a 15000 ppm (0.1-1.5% Se) (Pilon-Smits *et al.*, 2009).

El selenio es un nutrimento esencial para muchos organismos, pero también tóxica en niveles altos. Algunas algas requieren Se para fabricar selenoproteínas. Sin embargo, las plantas toman fácilmente y asimilan Se usando transportadores y vías bioquímicas de azufre. Algunas plantas pueden incluso hiperacumular Se a niveles alrededor de 1% de su peso seco en la forma de metil-selenocisteína, probablemente como un mecanismo de defensa (Pilon-Smits y Quinn, 2010).

En cuanto a efectos benéficos, la aplicación de Se a bajas concentraciones puede aumentar la tolerancia al estrés oxidativo inducido por radiación UV, retrasar la senescencia, y promover el crecimiento (Hajiboland y Keivanfar, 2012). Además, el selenio puede regular el contenido de agua bajo condiciones de sequía (Germ *et al.*, 2007).

Debido a que el selenio aumenta la absorción de metales pesados como el plomo (Pb) en plantas de *Coleus blumei* L., este elemento benéfico puede ser útil para estimular mecanismos de fitorremediación en ambientes contaminados por metales pesados (Yuan *et al.*, 2013).

La aplicación foliar de 10 mg Se L⁻¹ en forma de Na₂SeO₄ a plantas de soya cv. 'Olna' aumentó el potencial de respiración, principalmente en plantas jóvenes (Mechora y Germ, 2010).

En el pasto *Stylosanthes humilis* crecido en ambientes ácidos con altas concentraciones de aluminio tóxico, la aplicación de hasta 1.0 µM de Se activa mecanismos antioxidantes, y el propio Se puede remover especies reactivas de oxígeno (Mendes *et al.*, 2011).

Los efectos benéficos del selenio hasta ahora han sido enfocados principalmente a los parámetros de crecimiento de las plantas y a la actividad antioxidante que este metal desempeña con ciertas enzimas, sin embargo, falta mucha investigación que se relacione con los efectos que pueda proporcionar al estado nutrimental de las plantas.

En esta investigación se investiga el efecto del selenio en el cultivo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian, la forma en que bajas concentraciones impactan en su desarrollo fisiológico y absorción de nutrimentos.

IV.2. OBJETIVOS

IV.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del selenio adicionado a la solución nutritiva de Steiner aplicada a plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian en condiciones de hidroponía, para medir su impacto en parámetros fisiológicos (diámetro y altura del tallo, unidades SPAD, hojas torales y área foliar) y concentración nutrimental.

IV.2.2. Objetivos específicos

- Medir el efecto del Se en indicadores de crecimiento de heliconia Adrian (número de hojas, diámetro y altura del tallo, área foliar y unidades SPAD).
- Determinar las concentraciones de macronutrimentos y micronutrimentos en diferentes tejidos de las plantas, por efecto de la aplicación de Al en la solución nutritiva de Steiner.

IV.3. HIPÓTESIS

IV.3.1. Hipótesis general

- Al adicionar cantidades bajas de selenio (5, 15 y 25 μM) a la solución nutritiva, las plantas de heliconia Adrian presentan cambios fisiológicos e incrementan la absorción de nutrimentos.

IV.3.2. Hipótesis específica

- Los indicadores de crecimiento como diámetro y altura de la planta, número de hojas y área foliar, incrementan con las dosis de Se aplicadas.
- Con las concentraciones suministradas de Se, aumenta la absorción de nutrimentos en hoja, tallo y raíz, modificando a la vez el desarrollo fisiológico de la planta.

IV.4. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.4.1. Material biológico

Se utilizaron rizomas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian recolectados de las plantaciones del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, ubicado a 650 m de altitud, 18° 50" latitud norte 96° 51" longitud oeste, 18.4 °C de temperatura media anual y 78% de HR.

IV.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra

Una vez que los rizomas se extrajeron de los terrenos de cultivo, se lavaron con suficiente agua corriente para quitarles el exceso de tierra, después se desinfectaron de la siguiente manera: se lavaron durante 1 min con agua esterilizada, se sumergieron por 1 min en una solución con cloro al 2%, se lavaron nuevamente por 5 min con agua destilada, posteriormente se sumergieron con una solución fungicida sistémica (2 mL L⁻¹ de agua) Lannate® (Ingrediente activo: Metomilo: S-Metil-N metilcarbamoil oxi tioacetamidato).

IV.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual se cernió (diámetro de partícula de 0.5 a 1.5 cm), se lavó y se esterilizó en un autoclave a 1.2 libras, a 120 °C durante 15 minutos en bolsas de polietileno de 60 x 40 cm. Posterior a la esterilización se llenaron bolsas de polietileno de 20 x 25 cm con el tezontle, los tallos de los rizomas se cortaron a 25 cm de altura aproximadamente desde la base. Una vez desinfectados se sembraron 2 tallos por bolsa y se regaron cada tercer día con agua esterilizada durante 12 semanas.

IV.4.4. Localización del experimento

Las plantas se trasladaron a un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el km 36.5 de la Carretera México- Texcoco, localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altitud de 2250 m.

IV.4.5. Solución nutritiva y el selenio

Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner a niveles crecientes (10, 20 y 50%). El pH se ajustó a un rango de 5.0 a 5.8 con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%. Se regaron por las mañanas, a cada planta se suministraron entre 200 y 300 mL de solución junto conteniendo el elemento benéfico.

Durante la fase inicial que abarcó tres semanas, se utilizó la solución universal a una concentración del 10%; las siguientes dos semanas (semanas cuarta y quinta) se concentró al 20% y a partir de la sexta semana se preparó la solución al 50% hasta la cosecha del experimento en la semana 12 después de iniciar los tratamientos. En el **Cuadro IV.1** se presentan las fuentes empleadas en la formulación de las soluciones nutritivas.

A estas soluciones se adicionaron niveles crecientes de selenio: 5, 15 y 25 µM. La fuente fue selenato de sodio (Na₂SeO₄) grado reactivo.

Cuadro IV. 1. Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientos utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.

Fuente	Fórmula
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fosfato de potasio	KH_2PO_4
Nitrato de potasio	KNO_3
Sulfato de potasio	K_2SO_4
Tradecorp AZ®	Fe-EDTA, Mn-EDTA, Zn-EDTA, Cu-EDTA, B y Mo

IV.4.6. Cosecha del experimento

Las plantas se cosecharon a los 76 días de experimentación con selenio en la solución nutritiva en hidroponía. En diferentes fechas se tomaron las variables de crecimiento. Al finalizar el experimento las plantas fueron extraídas del tezontle (**Figura IV.1**), se lavaron, se seccionaron por órgano y se pesaron, y se estimó el área foliar de las hojas.



Figura IV. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas por 76 días con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.

IV.4.7. Variables evaluadas

IV.4.7.1. Indicadores de crecimiento

Estas variables se midieron cada quince días, y en total se tuvieron cinco mediciones durante toda la fase experimental.

Altura de la planta. Ésta se midió con un vernier digital marca Truper®, colocando la varilla para medir profundidad sobre la base de la planta al nivel del tezontle hasta la base donde se desarrolla la nueva hoja.

Diámetro del tallo. Esta variable se midió con el vernier digital justo a media altura de la planta.

Número de hojas. Se contabilizaron todas las hojas las cuales ya estaban bien desarrolladas.

Unidades SPAD. El índice de verdor de las hojas se realizó con el medidor portátil SPAD-502 marca Minolta®, eligiendo una hoja recientemente madura en cada repetición en la cual se realizaron tres lecturas SPAD y se determinó el promedio.

Área foliar: Se midió largo y ancho de las hojas y se estimó el área foliar de acuerdo al método descrito por Potdar y Pawar (1991). Esta variable también se estimó una vez cosechadas, mediante el medidor de área foliar LI-3100C Area Meter.

Peso fresco. Posterior a la cosecha también se determinó el peso fresco de los diferentes órganos, raíz, tallo y hoja. Esto se realizó con una balanza analítica marca Ohaus Mod. Adventurer Pro AV213C.

IV.4.7.2. Análisis nutrimental

Las plantas fueron seccionadas en raíz, tallo y hojas y se secaron por separado en una estufa de aire forzado marca Riossa Mod. HCF-125D durante 72 horas a una temperatura de 70°C para obtener los pesos de biomásas secas. Una vez secas se trituraron para realizar los análisis correspondientes.

Nitrógeno total. La acumulación y concentración de N total se determinó mediante la técnica Semimicro-Kjeldahl (Chapman y Pratt, 1973).

Análisis nutrimental. Se realizó una digestión húmeda diácida (ácidos nítrico y perclórico) para determinar P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Los digestados resultantes fueron filtrados previo a su lectura en un equipo de laboratorio de espectroscopia de emisión óptica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES 725).

IV.4.8. Diseño experimental

El diseño consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos, con 7 u 8 repeticiones, los tratamientos de Se fueron 0, 5, 15 y 25 μM . La unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno de 20 x 25 cm con dos rizomas cada una.

IV.4.9. Análisis estadístico de los datos

Los resultados tanto de indicadores de crecimiento como de análisis nutrimental se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

IV.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.5.1. Indicadores de crecimiento

Respecto a parámetros de crecimiento en heliconia Adrian tratada con diferentes concentraciones de selenio, ninguna variable mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las diferentes fases de medición, tal es el caso de altura y diámetro de tallo (**Figura IV.2** y **Figura IV.3** respectivamente).

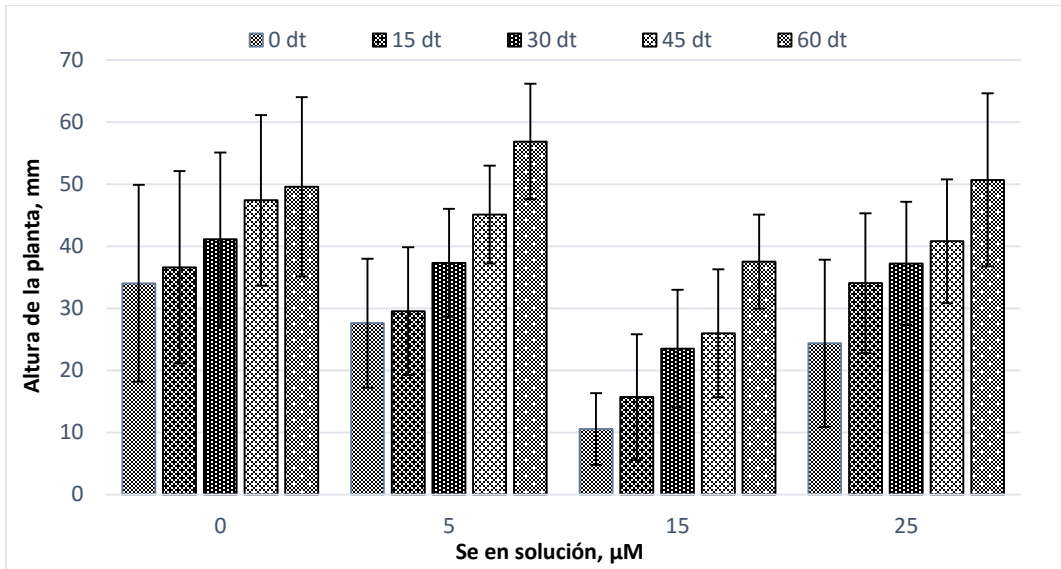


Figura IV. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

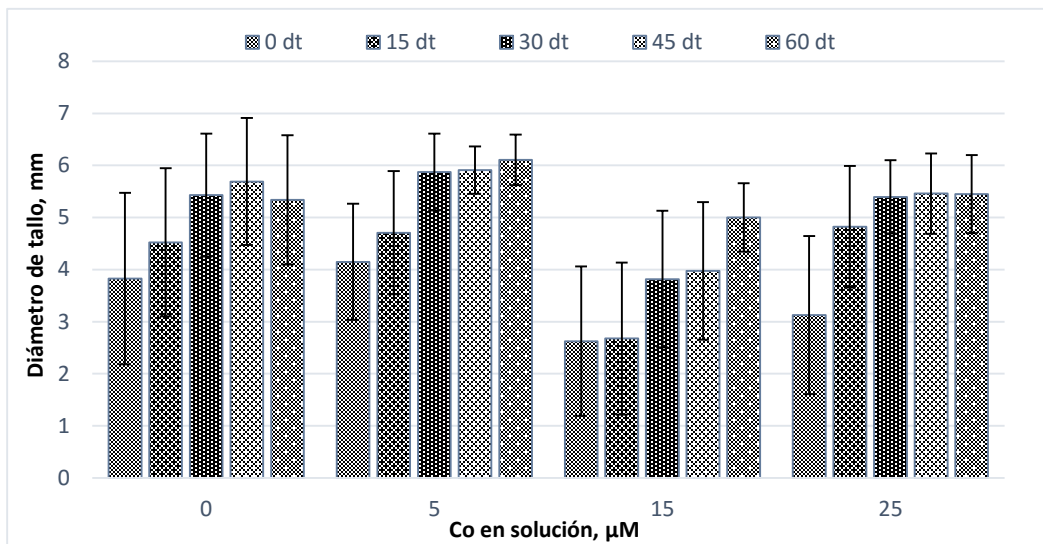


Figura IV. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Al igual que en altura y diámetro de tallo de la planta, para las variables número de hojas totales, unidades SPAD y área foliar, el Se no tuvo efecto alguno con las dosis suministradas a la solución nutritiva (Figuras IV.4, IV.5 y IV.6, respectivamente).

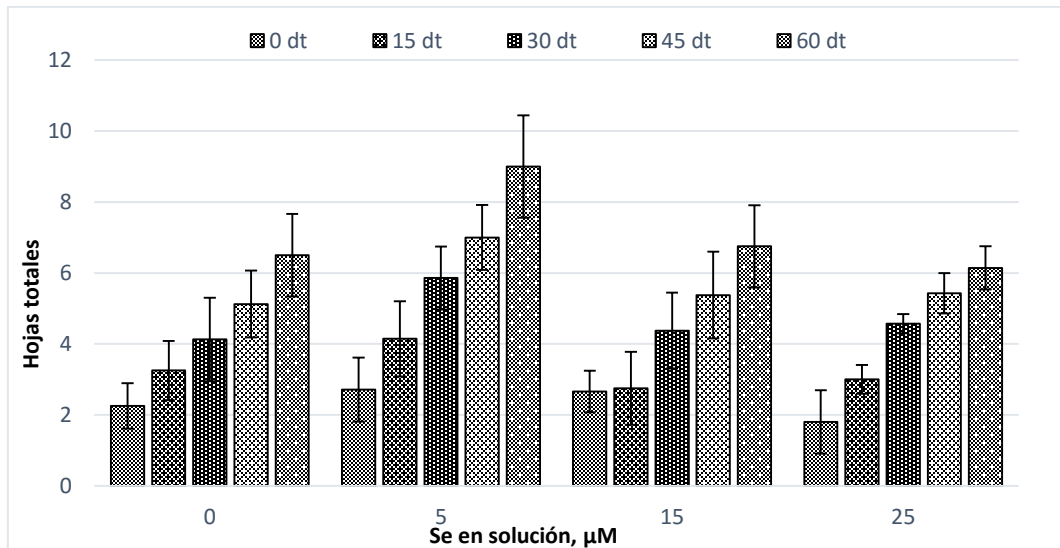


Figura IV. 4. Hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

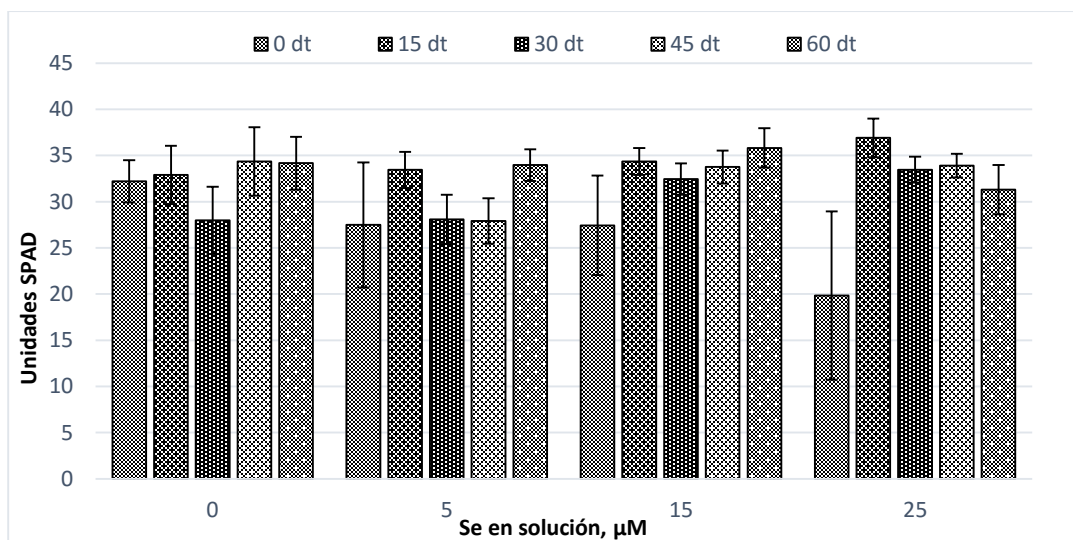


Figura IV. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

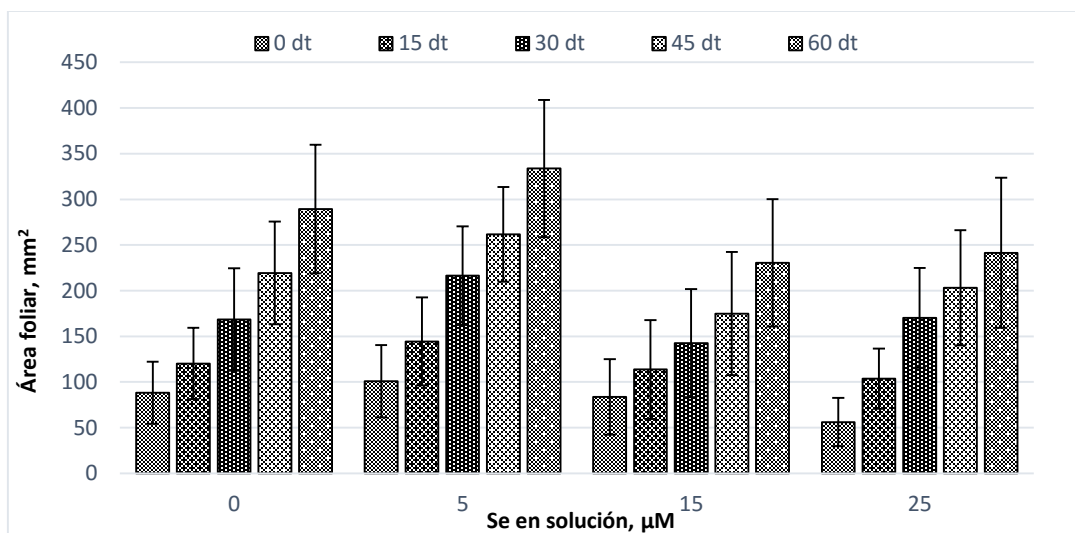


Figura IV. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de evaluación indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

En esta investigación se utilizaron cantidades de selenio relativamente bajas, y como se puede observar, los indicadores de crecimiento no mostraron diferencias estadísticas significativas. Algunos estudios ya se han realizado para evaluar el efecto del Se en algunas especies de plantas, por ejemplo, Trejo-Téllez *et al.* (2013) y Hartikainen *et al.* (2000), mencionan que en cantidades bajas, el selenio incrementa el crecimiento de algunas especies de plantas, tal es el caso de *Lolium perenne*, que al suministrar concentraciones mínimas, éste inhibe la peroxidación de lípidos, lo cual se ve reflejado en un mayor crecimiento de esta especie. Caso contrario sucede a concentraciones altas de selenio, donde actúa como un preoxidante y reduce el rendimiento.

El Se también aumentó del rendimiento en condiciones de radiación ambiental en calabazas (*Cucurbita pepo*) a una concentración 1.5 mg L^{-1} (Germ *et al.*, 2005).

En plántulas de melón (*Cucumis melo* L.) sometidas a estrés salino, el suministro de 2 a 8 mM de Se mejoró el crecimiento y actuó como un detonante de mecanismos antioxidantes al inhibir la peroxidación de lípidos e incrementar la actividad de las enzimas SOD y POD (KeLing *et al.*, 2013).

En maíz, la aplicación de Se en dosis de 5 $\mu\text{M dm}^{-3}$ estimula el crecimiento y la elongación de la raíz (Hawrylak-Nowak, 2008).

Hawrylak-Nowak (2013), reportó que aplicaciones menores a 15 μM de Se (como selenito o selenato) en lechuga, incrementaron el crecimiento de las plantas, en tanto que no se observaron cambios mayores en estado oxidativo, concentración de pigmentos y acumulación azufre.

En plantas de lechuga al ser tratadas con selenio y estresadas con radiación UV, este elemento fue capaz de promover el crecimiento de esta hortaliza, debido a que aumentó la peroxidación lipídica, protegiendo así a las células de los efectos de la radiación con un aumento de la capacidad antioxidante. El selenio también prolongó la vida anaquel de las lechugas que fueron sometidas a radiación UV (Pennanen *et al.*, 2002).

IV.5.2. Análisis nutricional

En el **Cuadro IV.2** se observan las concentraciones de macronutrientes para hojas. En cuanto a N no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo la cantidad de P y Mg disminuyen con el tratamiento 15 μM . Por otra parte, dosis de Se altas (25 μM) tuvieron un efecto antagónico con Ca. Por otra parte, se observa el efecto positivo del Se en la concentración de K.

Cuadro IV. 2. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Se μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1} PMS				
0	26.95 \pm 0.53 a	1.96 \pm 0.06 ab	12.86 \pm 1.01b	5.39 \pm 0.18 a	2.80 \pm 0.09 a
5	26.13 \pm 0.53 a	2.07 \pm 0.04 a	16.03 \pm 0.28 a	5.47 \pm 0.07 a	2.78 \pm 0.04 a
15	23.85 \pm 0.76 a	1.71 \pm 0.04 c	13.38 \pm 0.35 ab	5.37 \pm 0.07 a	2.47 \pm 0.04 b
25	26.25 \pm 1.43 a	1.83 \pm 0.00 bc	15.95 \pm 0.05 a	4.65 \pm 0.06 b	2.71 \pm 0.03 ab

Medias \pm DE con la distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En tallos (**Cuadro IV.3**) las concentraciones de N, K, Ca y Mg no fueron afectadas por el selenio. Por el contrario, la adición de Se a la solución nutritiva en concentraciones de 15 y 25 μM , redujo de manera significativa la concentración de P en tallos.

Cuadro IV. 3. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Se μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1} PMS				
0	20.07 \pm 0.86 a	3.07 \pm 0.06 a	26.73 \pm 5.59 a	7.42 \pm 0.31 a	5.90 \pm 0.05 a
5	23.45 \pm 0.97 a	3.10 \pm 0.04 a	26.05 \pm 1.00 a	7.05 \pm 0.04 a	5.66 \pm 0.08 a
15	21.00 \pm 0.46 a	2.70 \pm 0.05 b	26.40 \pm 0.59 a	7.00 \pm 0.09 a	5.62 \pm 0.12 a
25	29.83 \pm 4.73 a	2.80 \pm 0.04 b	29.37 \pm 1.27 a	6.72 \pm 0.13 a	5.60 \pm 0.08 a

Medias \pm DE con la distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

De manera similar a lo sucedido en tallos, en raíces las concentraciones de N, P, K y Ca no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (**Cuadro IV.4**); mientras que, la concentración de Mg disminuyó con la adición de Se en dosis de 5 y 25 μM a la solución nutritiva.

Cuadro IV. 4. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en raíces de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Se μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1} PMS				
0	12.50 \pm 0.43 a	2.51 \pm 0.02 a	11.34 \pm 0.10 a	5.53 \pm 0.08 a	6.36 \pm 0.06 a
5	26.50 \pm 6.86 a	2.46 \pm 0.14 a	16.97 \pm 4.59 a	5.61 \pm 0.61 a	5.83 \pm 0.06 b
15	14.33 \pm 0.29 a	2.29 \pm 0.02 a	11.54 \pm 0.16 a	6.10 \pm 0.04 a	6.09 \pm 0.06 ab
25	12.40 \pm 0.43 a	2.27 \pm 0.06 a	9.86 \pm 0.28 a	5.09 \pm 0.04 a	5.33 \pm 0.13 c

Medias \pm DE con la distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los datos de la concentración de micronutrientes en hojas se presentan en la **Figura IV.7**. Se observa que en las concentraciones de Fe, Zn, B y Se en raíces, **Subfiguras A, C, E y F** respectivamente, no hubo diferencias significativas respecto al control. Por su parte, la concentración de Cu (**Subfigura B**) disminuye con el tratamiento de 25 μM de Se; mientras que,

la concentración de Mn (**Subfigura D**) disminuye también con dosis altas de Se (25 y 15 μM), y aumentan con dosis bajas de Se (5 μM), respecto a las plantas testigo.

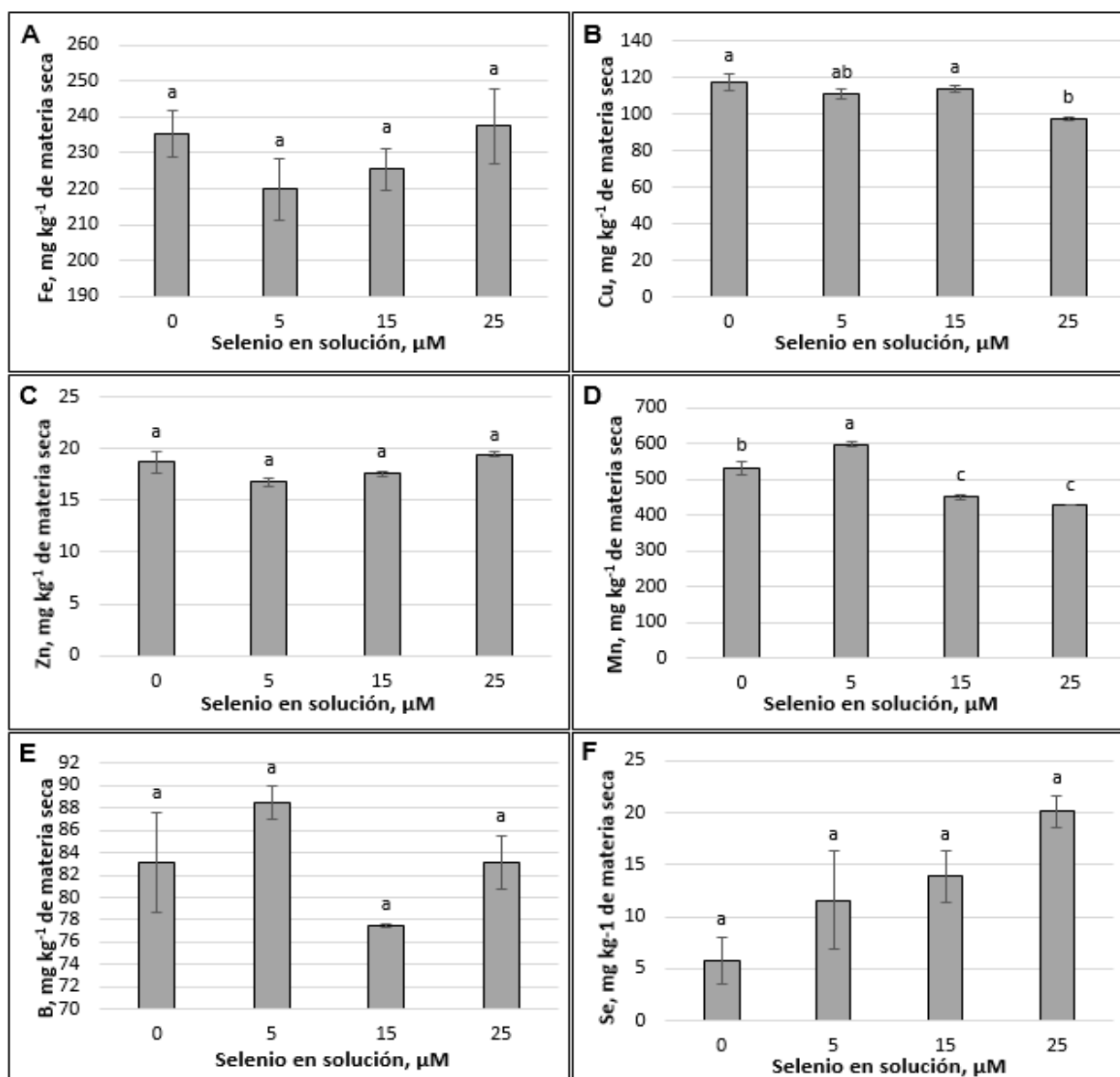


Figura IV. 7. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Se en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En la **Figura IV.8** se muestran las concentraciones de micronutrientes en tallos, para Fe, Cu y Zn (**Subfiguras A, B y C**) éstas disminuyen significativamente con las tres dosis suministradas de Se a la solución nutritiva. La concentración de Mg aumenta con el tratamiento

de Se a 5 μM y disminuye con los tratamientos de Se de 15 y 25 μM (**Subfigura D**). La concentración de boro y selenio en tallos no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (**Subfiguras E y F**).

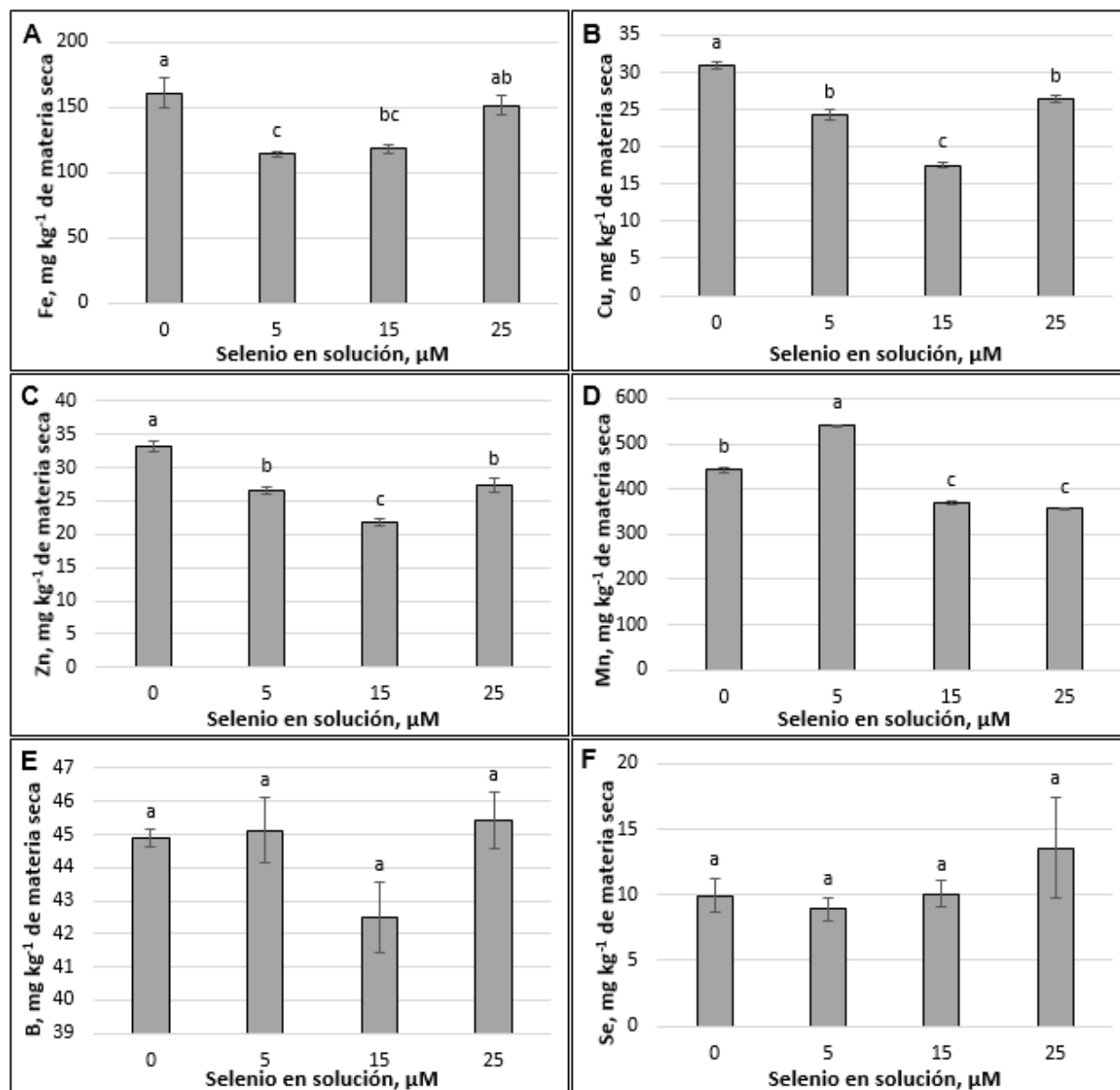


Figura IV. 8. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Se en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En lo que respecta a micronutrientes en raíces (**Figura IV.9**) los resultados indican que el Se a baja concentración (5 μM) tiene un comportamiento antagónico con el Fe (**Subfigura A**). Así también, la concentración de Cu es reducida significativamente con el tratamiento de Se de 25 μM (**Subfigura B**). Para el resto de los micronutrientes (Zn, Mg y B) y Se no hubo diferencias significativas entre tratamientos (**Subfiguras C, D, E y F**).

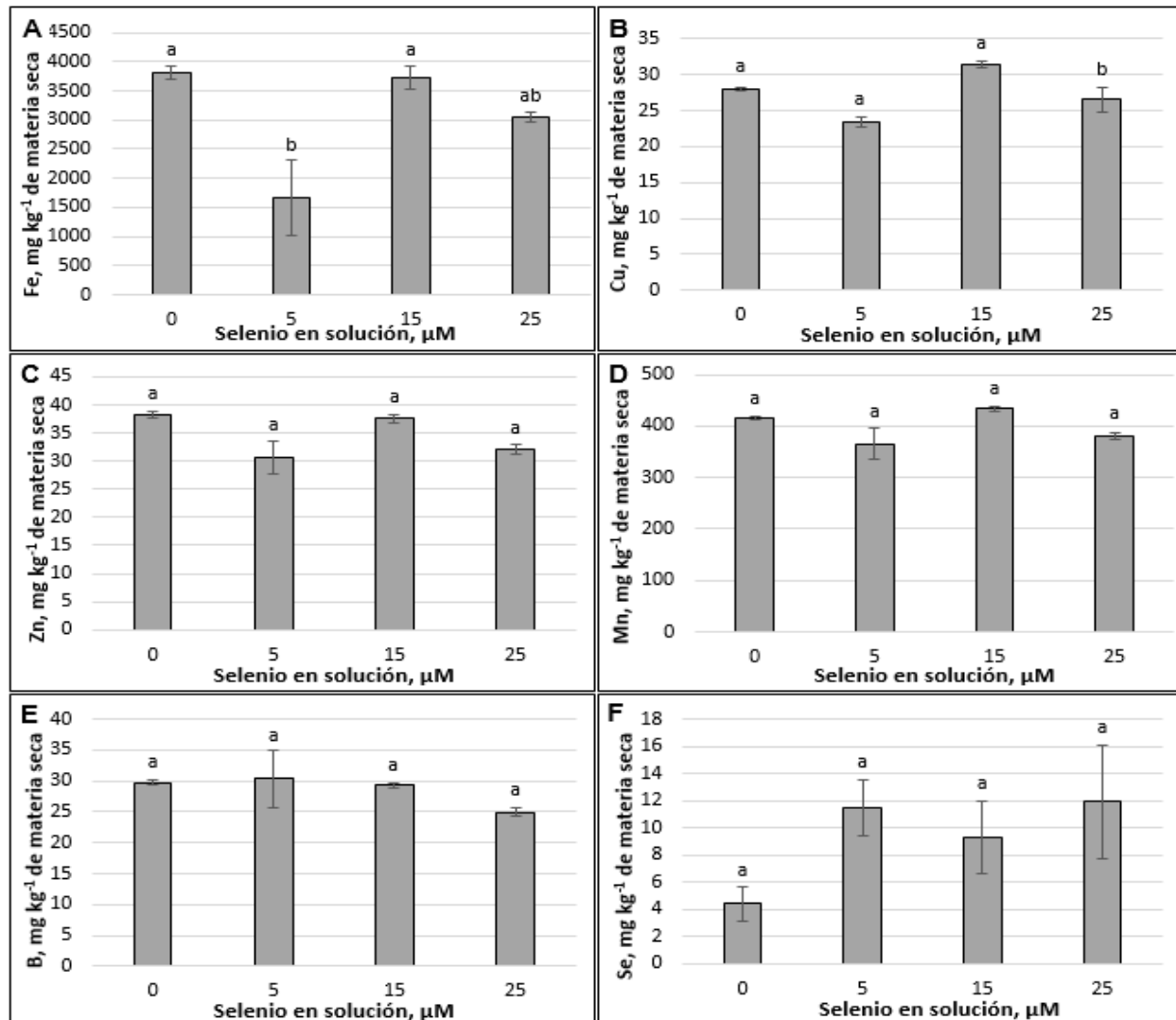


Figura IV. 9. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Se en raíces raíces de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de selenio en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En esta investigación se puede observar que hubo algunos efectos estadísticos significativos entre tratamientos en la concentración de macronutrientes y micronutrientes por efecto del selenio, sin embargo, éste no mostro efecto alguno en indicadores de crecimiento. Por otro lado, estudios recientes involucran al Se como un activador de enzimas antioxidantes y también formando parte de ellas, así como un estimulador del crecimiento de diversas especies de plantas, pero lo que respecta al estado nutricional, la interacción de éste con los elementos esenciales y su efecto en la absorción de los mismos, aun no hay suficiente información para sustentar estudios actuales.

Xue *et al.* (2001), en su estudio determinó que si se añade 0.1 mg kg^{-1} de Se, éste es capaz de retrasar la senescencia y promueve el crecimiento de las plantas de lechuga (*Lactuca sativa*).

Trejo-Téllez *et al.* (2013), mencionan que selenio en forma de selenato compite con la absorción de sulfato, por lo que se prevé que estos dos elementos son absorbidos en la membrana plasmática de la raíz por medio de un transportador de sulfato, que es acumulado en las células vegetales siguiendo un gradiente de potencial electroquímico, por medio del proceso de transporte activo.

El selenio es químicamente similar a azufre, y como resultado de ello, las plantas y otros organismos fácilmente absorben y metabolizan Se a través de transportadores y vías de S (Pilon-Smits y Quinn, 2010).

En canola (*Brassica napus*), Hajiboland y Keivanfar (2012) mostraron que selenio puede aumentar el rendimiento de semilla, y contribuye también a la mejora nutrimental.

En pasto ballico (*Lolium perenne*) la aplicación de 0.1 y 1 mg kg^{-1} de Se, activó mecanismos antioxidantes, aumentado la actividad de la glutatión peroxidasa (GSH-Px) y reduciendo a la vez los procesos de senescencia (Hartikainen *et al.*, 2000), respecto a esto, se puede decir que el papel fundamental del Se es la de actuar como un antioxidante para diferentes especies de plantas.

IV.6. CONCLUSIONES

Respecto a los indicadores de crecimiento, se concluye que el selenio no tiene influencia en el crecimiento de esta especie.

La absorción de algunos nutrimentos en los diferentes órganos de heliconia Adrian fue afectada de manera diferencial; es decir, algunos nutrimentos se vieron afectados positivamente por los tratamientos de selenio, algunos permanecieron inalterados por las dosis suministradas, mientras que otros mostraron un efecto antagónico con selenio.

IV.7. LITERATURA CITADA

- Chapman, H. D., P. F. Pratt. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas, México. 195 p.
- Germ. M., I. Kreft, J. Osvald. 2005. Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*. 43: 445-448.
- Germ, M., V. Stibilj, I. Kreft. 2007. Metabolic importance of selenium for plants. *European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 1: 91-97.
- Hajiboland, R., N. Keivanfar. 2012. Selenium supplementation stimulates vegetative and reproductive growth in canola (*Brassica napus* L.) plants. *Acta Agriculturae Slovenica*. 9: 13-19.
- Hartikainen, H., T. Xue, V. Piironen. 2000. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. *Plant Soil*. 225: 193-200.
- Hawrylak-Nowak, B. 2008. Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. *Journal of Elementology*. 13: 513-519.
- Hawrylak-Nowak, B. 2013. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. *Plant Growth Regulation*. 70: 149-157.
- KeLing, H., Z. Ling, W. JiTao, Y. Yang. 2013. Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. 82: 193-197.
- Mechora, S., M. Germ. 2010. Selenium induced lower respiratory potential in *Glycine max* (L.) Merr. *Acta agriculturae Slovenica*. 95: 29-34.

- Mendes, R. D., A. M. Mapeli, W. Camargos A., R. Santos B. 2011. A dual role of selenium in the growth control of seedlings of *Stylosanthes humilis*. *Agricultural Sciences*. 2: 78-85.
- Pennanen, A., T. L. Xue, H. Hartikainen. 2002. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *Journal of Applied Botany*. 76: 66-76.
- Pilon-Smits, E. A. H., C. F. Quinn. 2010. Selenium metabolism in plants. *Cell Biology of Metals and Nutrients*. 17: 225-241.
- Pilon-Smits, E. A., C. F. Quinn, W. Tapken, M. Malagoli, M. Schiavon. 2009. Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology*. 12: 267-274.
- Potdar, M. V., K. R. Pawar. 1991. Non-destructive leaf area estimation in banana. *Scientia Horticulturae*. 45: 251- 254.
- Trejo-Téllez, L. I., F. C. Gómez-Merino, G. Alcántar-González. 2013. Elementos benéficos. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 49-80.
- Xue, T., H. Hartikainen, V. Piironen. 2001. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium in senescing lettuce. *Plant and Soil*. 237: 55-61.
- Yuan, J., M. Hu, Z. Zhou. 2013. Selenium treatment mitigates the effect of lead exposure in *Coleus blumei* benth. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*. 3: 1-10.

V. EL EFECTO DEL SILICIO EN *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

V.1. INTRODUCCIÓN

El silicio no está de forma libre en la naturaleza, éste se encuentra de forma estructural en arenas, rocas y arcillas, combinado con oxígeno forma dióxido de silicio y también metales conocidos como silicatados (Trejo-Téllez *et al.*, 2013).

El Si es absorbido en un rango de pH de 2 hasta 9, siendo tomado por la raíces en la solución como ácido monosilícico (Si(OH)_4) para ser acumulado en las células epidermales (Borda *et al.*, 2007).

Los compuestos que contienen silicio, presentes en el suelo ocupan más del 60% de éste y su concentración como ácido silícico está en un rango de 3.5 a 40 mg de Si L⁻¹ (Marschner, 2002).

Ma y Yamaji (2006) mencionan que los efectos beneficiosos de Si se asocian a su alta deposición en los tejidos vegetales, mejorando su resistencia y rigidez. También es posible que el Si desempeñe un papel activo en la resistencia a enfermedades de las plantas mediante la estimulación de los mecanismos de defensa.

Se ha reportado que el silicio induce tolerancia a aluminio en cultivares de maíz, al incrementar la excreción de flavonoides con los que el aluminio forma complejos estables (Kidd *et al.*, 2001).

El Si puede desempeñar un papel importante en la resistencia a factores de estrés abiótico tales como toxicidad por metales pesados, salinidad y sequía, y puede reducir la generación de especies reactivas de oxígeno, debido al aumento de enzimas antioxidantes (Balakhnina y Borkowska, 2013).

El silicio es capaz de incrementar la resistencia de algunas especies de plantas a sales mediante el aumento de la actividad fotosintética, reduciendo la adsorción de sodio al incrementar la concentración de solutos en el xilema, y también al estimular la actividad antioxidante de ciertas enzimas como la superoxidodismutasa, catalasa, peroxidasa y glutatión reductasa, ya que éstas reducen la peroxidación de lípidos en las raíces (Liang, 1999; Liang *et al.*, 2003).

La resistencia a la sequía en las plantas, también es estimulada por silicio, por ejemplo, al acumularse silicio en las raíces de sorgo, se incrementa la resistencia al flujo radical del agua de las raíces, protegiendo así los tejidos vasculares de daños causados por la sequía; un efecto similar ocurre en maíz cuando en su fertilización se incluye silicio, el efecto es que reduce el consumo de agua (Lux *et al.*, 2002; Gao *et al.*, 2004).

El Si constituye entre el 0.1 y el 10% del peso seco de las plantas superiores y su acumulación puede variar significativamente entre especies. Las plantas deficientes en Si son quebradizas y susceptibles a infecciones fúngicas (Furcal-Beriguete y Herrera-Barrantes, 2013).

En la especie *Borago officinalis* L., el Si juega un papel detoxificante ante el estrés de Al ya que estimula la síntesis de compuestos fenólicos y de prolina (Shahnaz *et al.*, 2011).

En esta investigación se investigó el papel del silicio en el cultivo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian, suministrado en bajas concentraciones impactan en su desarrollo fisiológico y absorción de nutrimentos.

V.2. OBJETIVOS

V.2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del silicio adicionado a la solución nutritiva de Steiner aplicada a plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian en condiciones de hidroponía, para medir su impacto en parámetros fisiológicos (diámetro y altura del tallo, unidades SPAD, hojas torales y área foliar) y concentración nutrimental.

V.2.2. Objetivos específicos

- Medir el efecto del Si en indicadores de crecimiento de heliconia Adrian (número de hojas, diámetro y altura del tallo, área foliar y unidades SPAD).
- Determinar las concentraciones de macronutrientes y micronutrientes en diferentes tejidos de las plantas, por efecto de la aplicación de Se en la solución nutritiva de Steiner.

V.3. HIPÓTESIS

V.3.1. Hipótesis general

- Al adicionar cantidades bajas de silicio (0.5, 1.0 y 1.5 μM) a la solución nutritiva, las plantas de heliconia Adrián presentan cambios fisiológicos y se incrementa la absorción de nutrientes.

V.3.2. Hipótesis específica

- Los indicadores de crecimiento como diámetro y altura de la planta, número de hojas y área foliar, incrementan con las dosis de Si aplicadas.
- Con las concentraciones suministradas de Si, aumenta la absorción de nutrientes en hoja, tallo y raíz, modificando a la vez el desarrollo fisiológico de la planta.

V.4. MATERIALES Y MÉTODOS

V.4.1. Material biológico

Se utilizaron rizomas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian recolectados de las plantaciones del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, ubicado a 650 m de altitud, 18° 50" latitud norte 96° 51" longitud oeste, 18.4 °C de temperatura media anual y 78% de HR.

V.4.2. Preparación de los rizomas para la siembra

Una vez que los rizomas se extrajeron de los terrenos de cultivo, se lavaron con suficiente agua corriente para quitarles el exceso de tierra, después se desinfectaron de la siguiente manera: se lavaron durante un minuto con agua esterilizada, se sumergieron por un minuto en una solución con cloro al 2%, se lavaron nuevamente por 5 minutos con agua destilada, posteriormente se sumergieron con una solución fungicida sistémica (2 mL L⁻¹ de agua) Lannate® (Ingrediente activo: Metomilo: S-Metil-N metilcarbamoil oxi tioacetamidato).

V.4.3. Preparación del sustrato y siembra de los rizomas

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, el cual se cernió (diámetro de partícula de 0.5 a 1.5 cm), se lavó y se esterilizó en un autoclave a 1.2 libras, a 120 °C durante 15 minutos en bolsas de polietileno de 60 x 40 cm. Posterior a la esterilización se llenaron bolsas de polietileno de 20 x 25 cm con el tezontle, los tallos de los rizomas se cortaron a 25 cm de altura aproximadamente desde la base. Una vez desinfectados se sembraron 2 tallos por bolsa y se regaron cada tercer día con agua esterilizada durante 12 semanas.

V.4.4. Localización del experimento

Las plantas se trasladaron a un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, en el km 36.5 de la Carretera México-Texcoco, localizado a 19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y una altitud de 2250 m.

V.4.5. Solución nutritiva y el silicio

Se utilizó la solución nutritiva universal de Steiner a niveles crecientes (10, 20 y 50 %). El pH se ajustó a un rango de 5.0 a 5.8 con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%. Se regaron por las mañanas a cada planta entre 200 y 300 mL de solución junto con el elemento benéfico.

Durante la fase inicial que abarcó tres semanas, se utilizó la solución universal a una concentración del 10%; las siguientes dos semanas (semanas cuarta y quinta) se concentró al 20% y a partir de la sexta semana se preparó la solución al 50% hasta la cosecha del experimento en la

semana 12 después de iniciar los tratamientos. Las sales empleadas en la formulación de las soluciones nutritivas se presentan en el **Cuadro V.1**.

A estas soluciones se les adicionó niveles crecientes de silicio a concentraciones bajas (0.5, 1.0 y 1.5 μM). La fuente de Si fue dióxido de silicio (SiO_2) grado reactivo.

Cuadro V. 1. Sales grado reactivo y la fuente comercial de micronutrientes utilizadas para la elaboración de las soluciones nutritivas.

Fuente	Fórmula
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Fosfato de potasio	KH_2PO_4
Nitrato de potasio	KNO_3
Sulfato de potasio	K_2SO_4
Tradecorp AZ®	Fe-EDTA, Mn-EDTA, Zn-EDTA, Cu-EDTA, B y Mo

V.4.6. Cosecha del experimento

Las plantas se cosecharon a los 76 días de experimentación con silicio en la solución nutritiva en hidroponía. En diferentes fechas se tomaron las variables de crecimiento. Al finalizar el experimento las plantas fueron extraídas del tezontle (**Figura V.1**), se lavaron, se seccionaron por órgano y se pesaron, y se estimó el área foliar de las hojas.



Figura V. 1. Comparación de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva durante 76 días.

V.4.7. Variables evaluadas

V.4.7.1. Indicadores de crecimiento

Estas variables se midieron cada quince días, y en total se tuvieron cinco mediciones durante toda la fase experimental.

Altura de la planta. Ésta se midió con un vernier digital marca Truper®, colocando la varilla para medir profundidad sobre la base de la planta al nivel del tezontle hasta la base donde se desarrolla la nueva hoja.

Diámetro del tallo. Esta variable se midió con el vernier digital justo a media altura de la planta.

Número de hojas. Se contabilizaron todas las hojas las cuales ya estaban bien desarrolladas.

Unidades SPAD. El índice de verdor de las hojas se realizó con el medidor portátil SPAD-502 marca Minolta®, eligiendo una hoja recientemente madura en cada repetición en la cual se realizaron tres lecturas SPAD y se determinó el promedio.

Área foliar: Se midió largo y ancho de las hojas y se estimó el área foliar de acuerdo al método descrito por Potdar y Pawar (1991). Esta variable también se estimó una vez cosechadas, mediante el medidor de área foliar LI-3100C Area Meter.

Peso fresco. Posterior a la cosecha también se determinó el peso fresco de los diferentes órganos, raíz, tallo y hoja. Esto se realizó con una balanza analítica marca Ohaus Mod. Adventurer Pro AV213C.

V.4.7.2. Análisis nutrimental

Las plantas fueron seccionadas en raíz, tallo y hojas y se secaron por separado en una estufa de aire forzado marca Riossa Mod. HCF-125D durante 72 horas a una temperatura de 70°C para obtener los pesos de biomásas secas. Una vez secas se trituraron para realizar los análisis correspondientes.

Nitrógeno total. La acumulación y concentración de N total se determinó mediante la técnica Semimicro-Kjeldahl (Chapman y Pratt, 1973).

Análisis nutrimental. Se realizó una digestión húmeda diácida (ácidos nítrico y perclórico) para determinar P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn y B. Los digestados resultantes fueron filtrados previo a su lectura en un equipo de laboratorio de espectroscopia de emisión óptica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES 725).

V.4.8. Diseño experimental

El diseño consistió en un experimento completamente al azar con 4 tratamientos y 7-8 repeticiones, los tratamientos fueron 0, 0.5, 1.0 y 1.5 μM de silicio. La unidad experimental consistió en una bolsa de polietileno de 20 x 25 cm con dos rizomas cada una.

V.4.9. Análisis estadístico de los datos

Los resultados tanto de indicadores de crecimiento como de análisis nutrimental se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

V.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.5.1. indicadores de crecimiento

El silicio es considerado un elemento benéfico y para algunos autores es esencial; en esta investigación, en la cual, se evaluó el papel del dióxido de silicio en plantas de heliconia Adrian, se encontró que no hubo diferencias estadísticas significativas de este elemento en altura y diámetro de tallo de este cultivar, sin embargo, se observa que con los tratamientos 0.5 y 1 μM hay un incremento de estas variables conforme a las fechas de medición y comparadas con el tratamiento testigo y 1.5 μM . (Figura V.2 y V.3 respectivamente).

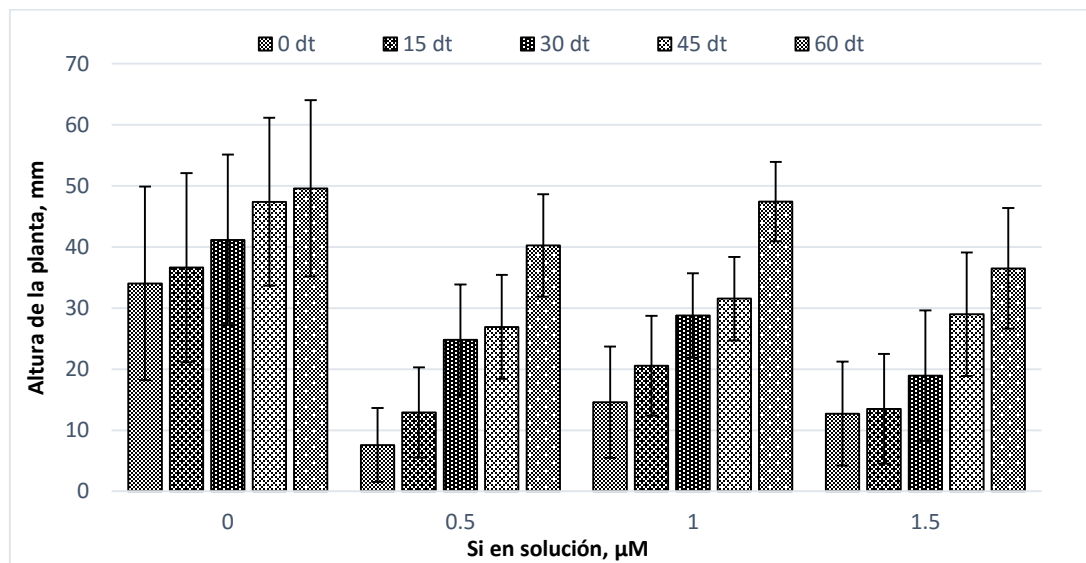


Figura V. 2. Altura de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

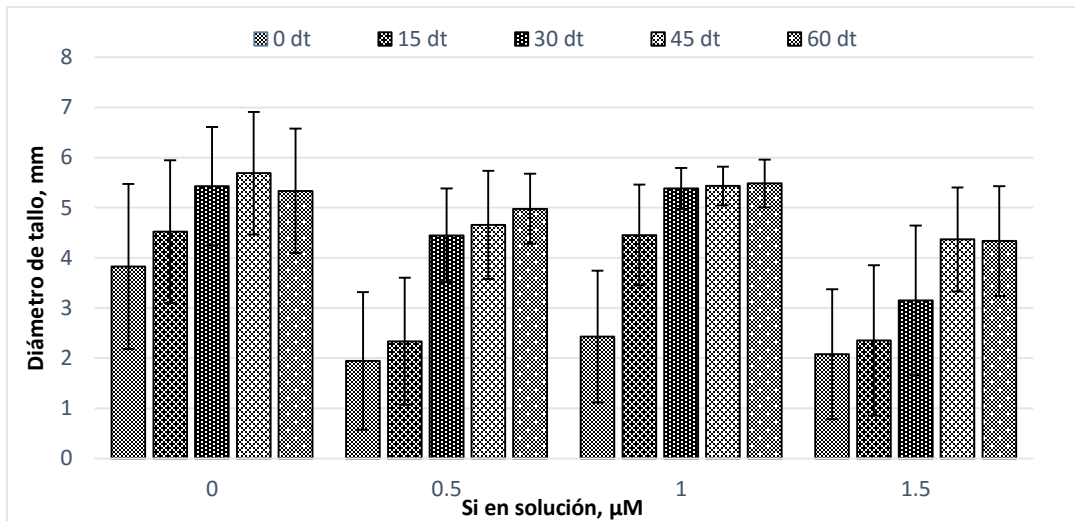


Figura V. 3. Diámetro de tallo en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Respecto al número de hojas totales, Si no mostró ningún efecto sobre esta variable (**Figura V.4**).

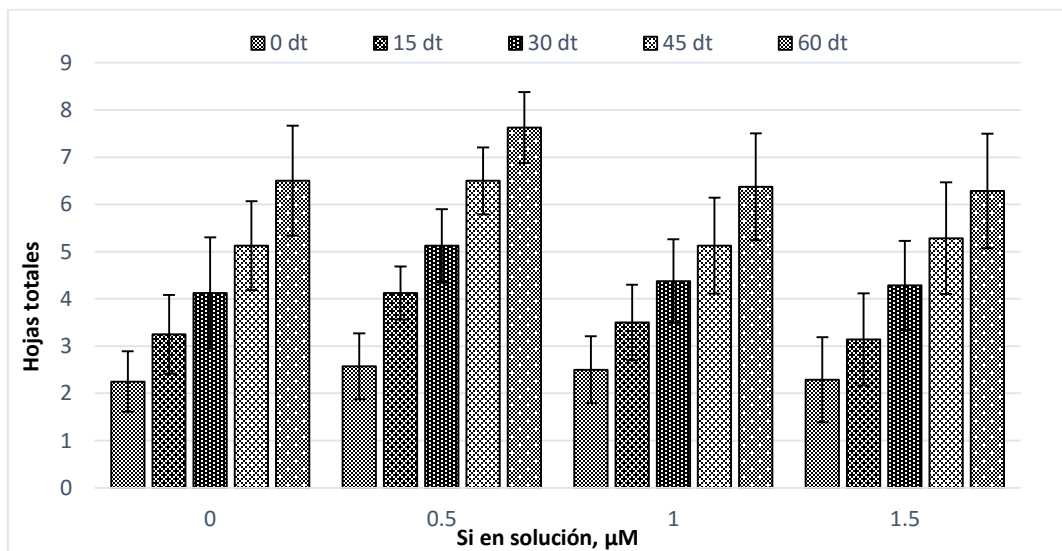


Figura V. 4. Hojas totales en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

Al igual que en altura y diámetro de la planta y hojas totales, respecto a las lecturas SPAD, la aplicación de silicio no mostró diferencias estadísticas significativas (**Figura V.5**).

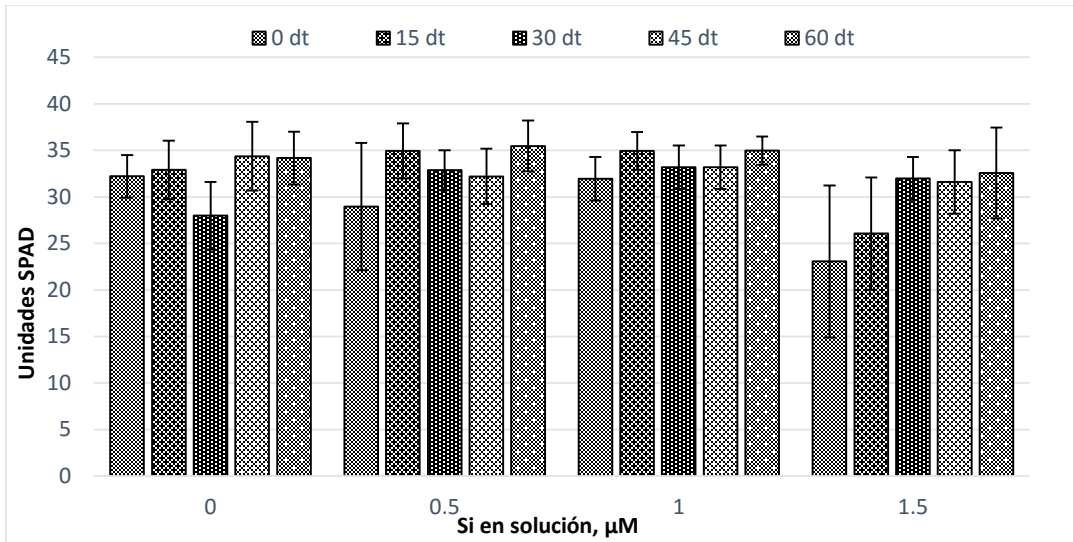


Figura V. 5. Índice de verdor en hojas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

La variable área foliar no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, sin embargo, la concentración de silicio 0.5 μM incrementó esta variable más que el testigo y las dos concentraciones más altas de Si suministradas (**Figura V.6**).

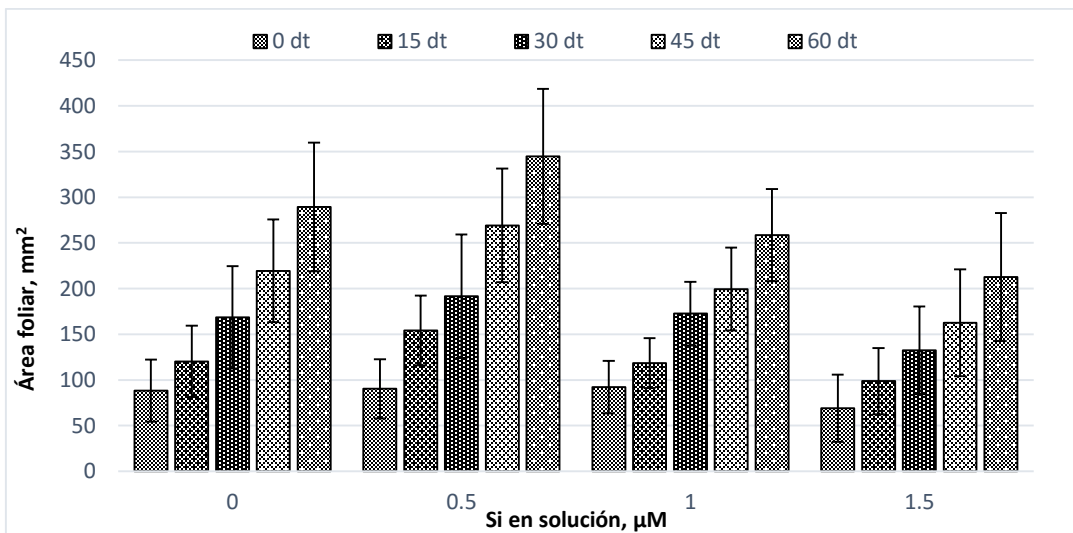


Figura V. 6. Área foliar en plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con silicio en la solución nutritiva. La comparación entre medias (Tukey, $P \leq 0.05$) en cada fecha de muestreo indica que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. (dt= días de tratamiento).

En esta investigación no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en los indicadores de crecimiento, sin embargo, algunos estudios sobre el papel benéfico del silicio en el desarrollo de algunas especies de plantas se han reportado, por ejemplo, en pepino se reporta que al suministrar silicio al cultivo (1.84 mM) se estimula el crecimiento de las plantas, traduciéndose en un aumento de grosor de las hojas, incremento de peso seco por unidad de área foliar, aumento de peso fresco y reducción de la marchitez en las hojas (Adatia y Besford, 1986).

En caña de azúcar cv. Ameca, la aplicación de un producto foliar comercial (Armurox®) que contenía silicio, incrementó significativamente el área foliar, altura y diámetro del tallo, esta última variable tuvo una diferencias de 14 cm respecto al control. Por otro lado, en el cv. Autlán hay un incremento en el área foliar desde 128 cm en el testigo a 161 cm en el tratamiento de silicio; en lo que respecta a altura de la planta, ésta aumentó de 96.3 cm a 116.6 cm y el diámetro del tallo aumentó de 21.3 a 22.8 cm (Amador *et al.*, 2013).

Datnoff y Rodríguez (2005), reportan un mayor crecimiento foliar en zacate y caña de azúcar, incluso cuando las plantas están bajo estrés hídrico.

Thangavelu y Rao (2002), mencionan que en caña de azúcar, el silicio protege la actividad fotosintética, preservando los tejidos verdes foliares contra la acción de agentes deshidratantes, además de que inhibe la actividad amilasa, previniendo la acumulación de almidón y subsiguiente competición por las reservas de fosfato orgánico.

En avena, la aplicación de 100 mg kg⁻¹ (116.42 g por maceta) de ácido monosílico en presembrado, aumentó altura y producción de materia seca, como consecuencia de una mejor absorción nutrimental promovida por el Si (Borda *et al.*, 2007). Además, el Si estimula la elongación y la turgencia celular y mejora la conversión de asimilados.

En plantas de melón amargo (*Momordica charantia*) sometidas a estrés salino (50 mM NaCl), la aplicación de concentraciones crecientes de Si (1 a 5 mM) aumentó la tasa y el índice de germinación, la vitalidad de las plántulas, y la actividad de las enzimas antioxidantes SOD, POD y CAT (Wang *et al.*, 2010).

Al adicionar silicato hasta 200 mg L⁻¹ a partir de K₂SiO₃, las flores de clavel cv. ‘Harlem’ aumentaron la vida de florero a consecuencia de una reducción significativa en la producción de etileno (Babak y Majid, 2011). La aplicación de 2.5 mM de Si junto con ácido acetilsalicílico 3 mM, reduce el porcentaje de marchitamiento en la flor de corte clavel, retarda la degradación de clorofilas y de carbohidratos, y reduce la actividad de enzimas oxidasas (i.e. ACC-oxidasa) (Kazemi *et al.*, 2012).

V.5.2. Análisis nutrimental

De acuerdo al análisis de macronutrientos realizado a las hojas de heliconia Adrian no se muestran diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (**Cuadro V.2**).

Cuadro V. 2. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tejido foliar de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Si μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ PMS				
0	26.95 ± 0.53 a	1.96 ± 0.06 a	12.86 ± 1.01 a	5.39 ± 0.18 a	2.80 ± 0.09 a
0.5	29.90 ± 1.80 a	1.69 ± 0.11 a	15.10 ± 1.06 a	4.94 ± 0.36 a	2.63 ± 0.14 a
1.0	26.13 ± 0.24 a	1.66 ± 0.03 a	13.99 ± 0.29 a	5.03 ± 0.09 a	2.36 ± 0.04 a
1.5	26.63 ± 0.47 a	1.79 ± 0.03 a	15.12 ± 0.42 a	5.43 ± 0.10 a	2.67 ± 0.06 a

Medias ± DE con las mismas letras literales entre columnas, indican que no existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Respecto a macronutrientos en tallos, el Si no mostró efecto alguno en la concentración de N, P, K, Ca y Mg (**Cuadro V.3**).

Cuadro V. 3. Concentración de macronutrientos (N, P, K, Ca y Mg) en tallo de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Si μM]	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹ PMS				
0	20.07 ± 0.86 a	3.07 ± 0.06 a	26.73 ± 5.59 a	7.416 ± 0.31 a	5.90 ± 0.05 a
0.5	27.33 ± 3.28 a	2.81 ± 0.08 ab	26.14 ± 2.19 a	7.202 ± 0.23 a	5.20 ± 0.14 a
1.0	20.80 ± 0.57 a	2.33 ± 0.15 b	27.29 ± 0.97 a	7.253 ± 0.64 a	4.99 ± 0.32 a
1.5	22.10 ± 1.82 a	2.53 ± 0.10 ab	25.38 ± 0.49 a	7.278 ± 0.25 a	5.43 ± 0.16 a

Medias ± DE con distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los diferentes tratamientos con Si en raíces no afectaron las concentraciones de N, por otro lado, las concentraciones de P, K y Ca disminuyen su concentración con la dosis de Si de 0.5 μM . La concentración de Mg decrece con el tratamiento 0.5 y 1.5 μM de Se, en comparación con el testigo (**Figura V.4**).

Cuadro V. 4. Concentración de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg) en raíces de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian por efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de silicio en la solución nutritiva.

Tratamiento [Si μM]	g kg^{-1} PMS				
	N	P	K	Ca	Mg
0	12.48 \pm 0.44 a	2.51 \pm 0.02 a	11.34 \pm 0.10 ab	5.53 \pm 0.08 a	6.36 \pm 0.06 a
0.5	12.17 \pm 0.12 a	2.27 \pm 0.05 b	10.20 \pm 0.13 c	4.86 \pm 0.02 b	5.63 \pm 0.19 b
1.0	16.10 \pm 2.78 a	2.42 \pm 0.02 ab	12.07 \pm 0.24 a	5.32 \pm 0.11 a	6.03 \pm 0.14 ab
1.5	13.67 \pm 0.64 a	2.39 \pm 0.04 ab	10.71 \pm 0.20 bc	5.36 \pm 0.09 a	5.64 \pm 0.04 b

Medias \pm DE con distinta letra entre columnas, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

La concentración de micronutrientes en hoja (**Figura V.7**) demuestran que el tratamiento de Se de 1.5 μM incrementa la concentración de Fe (**Subfigura A**). El silicio también incrementa significativamente la concentración de Cu con los tratamientos conteniendo 1.0 y 1.5 μM de Se (**Subfigura B**). Por el contrario la concentración de Mn se vio afectada con las concentraciones más bajas de Se (0.5 y 1 μM) (**Subfigura D**). Por su parte, las concentraciones de Si evaluadas no afectaron las concentraciones foliares de Zn y B (**Subfigura C y E**). De la misma manera, la adición de Si a la solución nutritiva no tuvo efecto en la concentración de este elemento en hojas (**Subfigura F**).

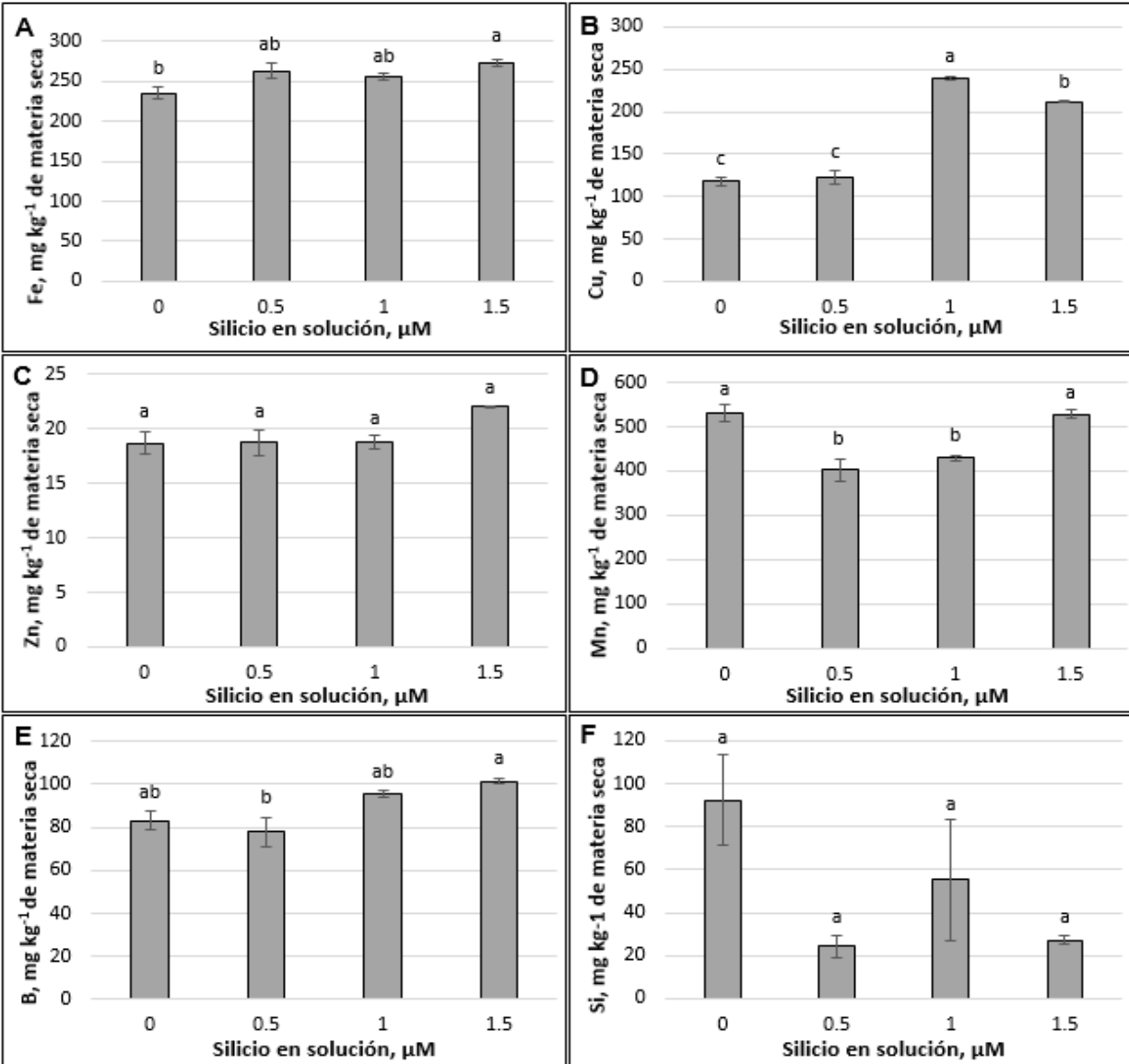


Figura V. 7. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Si en tejido foliar de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de Si en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En tallos (**Figura V.8**), la adición de Si en la solución nutritiva incrementó la concentración de Fe (**Subfigura A**). El cobre disminuyó su concentración en tallos con el tratamiento de 0.5 μM de Se; mientras que el manganeso mostró menor concentración con 0.5 y 1.0 μM de Se (**Subfiguras B y D**). Efectos negativos del Si se observaron en las concentraciones de Zn en tallos (**Subfigura C**). Las concentraciones de B y Si en tallos no fueron influenciadas por los tratamientos con silicio en la solución nutritiva (**Subfiguras E y F**).

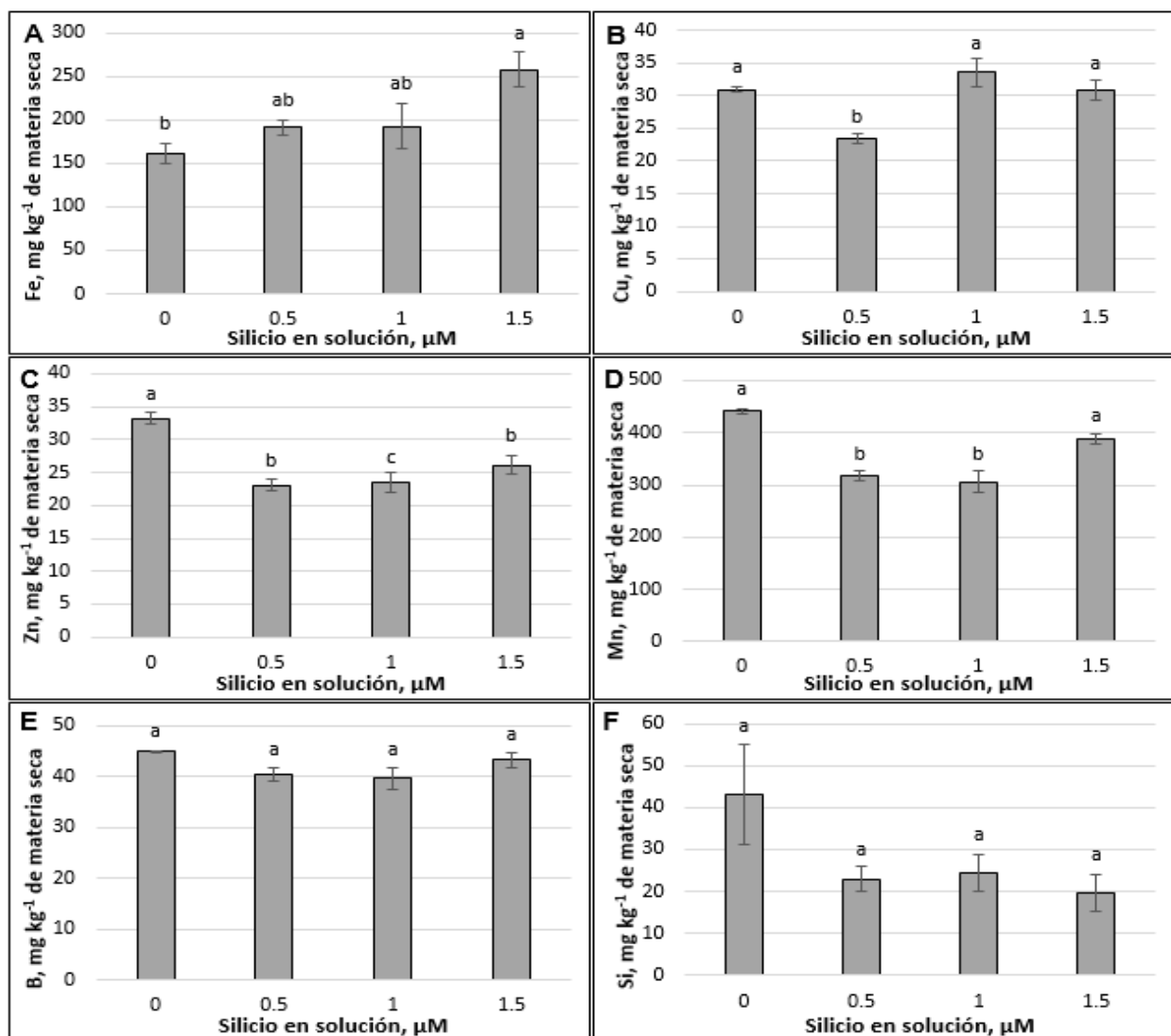


Figura V. 8. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Si en tallos de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de Si en la solución nutritiva. Medias ± DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

En raíces (**Figura V.9**), al igual que en tallo, la concentración de Fe fue superior con el tratamiento de Se de 1.5 μM (**Subfigura A**). Por su parte, la concentración de Zn disminuyó en las raíces de plantas tratadas con Se a una concentración de 1 μM y las concentraciones de Mn guardaron una relación negativa con el suministro de Si (**Subfiguras C y D**). Las concentraciones de cobre y boro en raíces no fueron influenciadas por los tratamientos de Si (**Subfiguras B y E**). De la misma manera, las concentraciones de Si en raíces no fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos (**Subfigura F**).

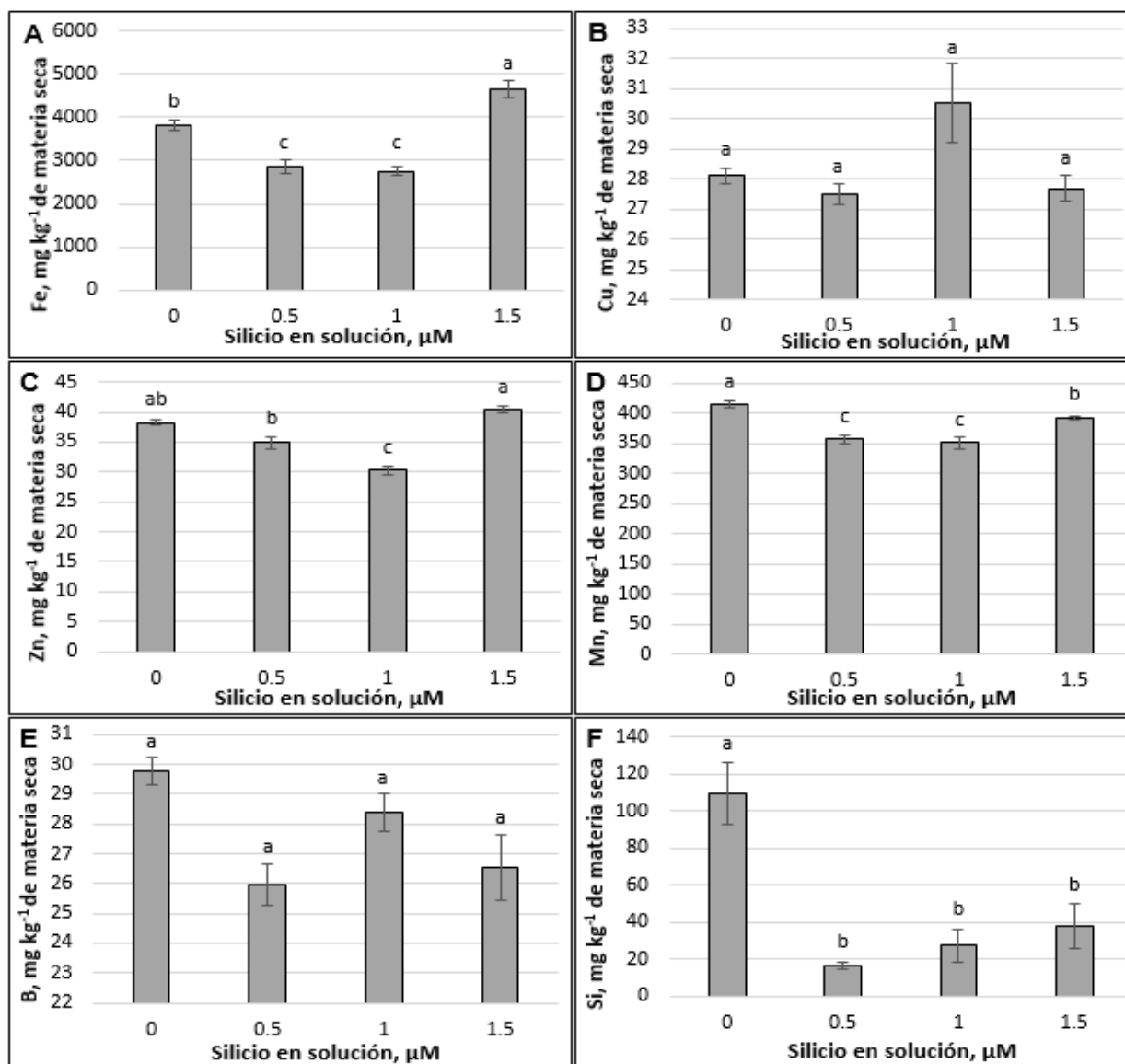


Figura V. 9. Concentración de microelementos (Fe, Cu, Zn, Mn y B) y Si en raíz de plantas de *Heliconia psittacorum* L.f. x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch Adrian tratadas con diferentes concentraciones de Si en la solución nutritiva. Medias \pm DE con distinta letra en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

Como resultado de esta investigación, se ha comprobado que el Si puede estimular la absorción principalmente de algunos micronutrientes. Por otro lado, se ha reportado que el Si puede contrarrestar los efectos tóxicos de elementos como Al y Mn, conferir resistencia contra plagas y enfermedades, e incluso permitir la formación de nanoestructuras utilizando como catalizadores compuestos orgánicos, enzimas u organismos (Raya y Aguirre, 2009).

Estudios sobre el efecto del Si en la absorción de nutrimentos se han llevado a cabo, por ejemplo, en caña de azúcar cv. Ameca, la aplicación de silicio (Armurox®) incrementa la concentración de potasio de 2.31% respecto al testigo que contenía 1.94%; la concentración de Na disminuyó a 0.21%; mientras que, en el testigo fue de 0.27%; la concentración de N también aumentó de 1.93% en el testigo a 2.08%. El boro causa toxicidad a caña de azúcar a niveles elevados; en este caso, el silicio fue capaz de disminuir el contenido de éste de 80 ppm a 62 ppm. Por otra parte, en el cv. Autlán, la concentración de K aumentó de 2.03% que contenía el testigo a 2.23% con la adición de Si; la concentración de Na también aumentó de 0.02% a 0.05% en plantas tratadas (Amador *et al.*, 2013).

En plantas de arroz, se ha observado que los silicatos disminuyen la toxicidad por Fe y Mn, debido a que el silicio permite que desde las hojas y tallos se incremente la cantidad de oxígeno que impulsan las plantas hacia la raíz, llegando al parénquima y a la vez se oxida la rizósfera, logrando que el Fe y Mn reducido se oxide, y así se evita una excesiva toma de éstos por parte de las plantas, en éste mismo cultivo, se ha comprobado que el Si induce una excelente resistencia contra enfermedades ocasionadas por *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Rynchosporium* y *Sarocladium*, entre otros (Furcal-Beriguete y Herrera-Barrantes, 2013; Parménides, 2012).

V.6. CONCLUSIONES

La adición de silicio en la solución nutritiva en el cultivo de heliconia Adrian, no ocasionó diferencias estadísticas significativas en indicadores de crecimiento, sin embargo, se observa una tendencia de incremento de éstas con las dos concentraciones más bajas. El silicio puede mejorar el desarrollo de la planta ya que se le atribuyen efectos benéficos como extintor de especies reactivas de oxígeno (ROS), así también el silicio otorga resistencia a sequía, entre otros efectos benéficos.

Respecto al estado nutrimental de las plantas, para la mayoría de macronutrientes no hubo alteraciones por parte de los tratamientos que contenían silicio, sin embargo, hay una reducción de P, K y Ca en raíz. Para micronutrientes, Fe y Mn por ejemplo, aumentaron su concentración con las dos dosis más bajas de Si, caso contrario ocurre con B y Zn, que disminuyeron su concentración o se mantuvieron sin alteración alguna en presencia de silicio.

V.7. LITERATURA CITADA

- Adatia, M. H., R. T. Besford. 1986. The effect of silicon in cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Annals of Botany*. 58: 343-351.
- Amador, C. O., J. M. Cerda S., S. Sancho D., R. Hernández P. 2013. Aumento del potencial productivo en caña de azúcar por aplicación de armurox® como fuente de silicio biodisponible. *Proceedings of XIX Congreso ATACA*. Consultado: 29/09/2015 (Disponible en: <http://www.plantstress.net/articulos-cientificos/aumento-potencial-productivo-cana-azucar-armurox-silicio-biodisponible/doc>).
- Babak, J., R. Majid. 2011. Carnation flowers senescence as influenced by nickel, cobalt and silicon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 5: 147-152.
- Balakhnina, T., A. Borkowska. 2013. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses: review. *International Agrophysics*. 27: 225-232.
- Borda, O. A., F. H. Barón, M. I. Gómez. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): Respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agronomía Colombiana*. 25: 273-279.
- Chapman, H. D., P. F. Pratt. 1973. *Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas*. Trillas, México. 195 p.
- Datnoff, L. E., F. A. Rodriguez. 2005. The Role of Silicon in Suppressing Rice Diseases. *APSnet Features*. Consultado 29/09/2015. (Disponible en: <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SiliconInRiceDiseases.aspx>).
- Furcal-Beriguete, P., A. Herrera-Barrantes. 2013. Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*. 24: 365-378.
- Gao, X., Ch. Zou, L. Wang, F. Zhang. 2004. Silicon improves water use efficiency in maize plants. *Journal of Plant Nutrition*. 27: 1457-1470.

- Kazemi, M. 2012. Effect of cobalt, silicon, acetylsalicylic acid and sucrose as novel agents to improve vase-life of *Argyranthemum* flowers. Trends in Applied Sciences Research. 7: 579-583.
- Kidd, P. S., M. Llugany, C. Poschenrieder, B. Gunsé, J. Barceló. 2001. The role of root exudates in aluminium resistance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (*Zea mays* L.). Journal of Experimental Botany. 52: 1339-1352.
- Liang, Y. 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant Soil. 209: 217-224.
- Liang, Y., Q. Chen, Q. Liu, W. Zhang, R. Ding. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Plant Physiology. 160: 1157-1164.
- Lux, A., M. Luxová, T. Hattori, S. Inanaga, Y. Sugimoto, Y. 2002. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. Physiología Plantarum. 115: 87-92.
- Ma, J. F., N. Yamaji. 2006. Silicon uptake and accumulation in higher plants. Trends Plant Science. 11: 392–397.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. London, U. K. 889 p.
- Parménides F. B., 2012. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var cr 4477 código 5402-2151- 8601. Informe Final. Instituto Tecnológico de Costa Rica, TEC. Escuela de Agronomía, Sede San Carlos.
- Potdar, M. V., K. R. Pawar. 1991. Non-destructive leaf area estimation in banana. Scientia Horticulturae. 45: 251- 254.

- Raya, J. C. P., C. L. M. Aguirre. 2009. Composición elemental de algunas especies de plantas silvestres mexicanas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15: 95-99.
- Shahnaz, G., E. Shekoofeh, D. Kourosh, B. Moohamadbagher. 2011. Interactive effects of silicon and aluminum on the malondialdehyde (MDA), proline, protein and phenolic compounds in *Borago officinalis* L. *Journal of Medicinal Plants Research*. 5: 5818-5827.
- Thangavelu, S., C. Rao. 2002. Silicon content in juice of sugarcane clones and its association with other characters at different stages of maturity. *Sugar Tech*. 4: 57- 60.
- Trejo-Téllez, L. I., F. C. Gómez-Merino, G. Alcántar-González. 2013. Elementos benéficos. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcántar, L. I. Trejo-Téllez (eds.). México, D. F.: MundiPrensa y Colegio de Postgraduados. pp. 49-80.
- Wang, X.D., C. Ou-yang, Z. R. Fan, S. Gao, F. Chen, L. Tang. 2010. Effects of exogenous silicon on seed germination and antioxidant enzyme activities of *Momordica charantia* under salt stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 6: 700-708.

ANEXO A.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

CAPÍTULO II. EFECTO DEL ALUMINIO EN *Heliconia psittacorum* L.F. X *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

Cuadro 1A. Análisis de varianza de la concentración de N en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	20.773958	6.92465278	1.46	0.2961
Error	8	37.893333	4.73666667		
Total corregido	11	58.667292			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.354098	8.469811	2.176388	25.69583	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	20.773958	6.92465278	1.46	0.2961

Cuadro 2A. Análisis de varianza de la concentración de P en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.036352	0.01211732	2.36	0.1473
Error	8	0.0410444	0.00513055		
Total corregido	11	0.0773964			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.469686	3.792835	0.071628	1.888505	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	0.036352	0.01211732	2.36	0.1473

Cuadro 3A. Análisis de varianza de la concentración de K en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	4.0961284	1.36537613	0.47	0.7085
Error	8	23.012927	2.87661581		
Total corregido	11	27.109055			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.151098	12.45347	1.696059	13.61917	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	4.0961284	1.36537613	0.47	0.7085

Cuadro 4A. Análisis de varianza de la concentración de Ca en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.2829039	0.0943013	2.6	0.1243
Error	8	0.2899439	0.03624299		
Total corregido	11	0.5728478			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.493855	3.467383	0.190376	5.490478	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	0.2829039	0.0943013	2.6	0.1243

Cuadro 5A. Análisis de varianza de la concentración de Mg en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.0680852	0.02269507	3.02	0.0937
Error	8	0.0600568	0.0075071		
Total corregido	11	0.128142			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.531326	3.161538	0.086644	2.740549	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	0.0680852	0.02269507	3.02	0.0937

Cuadro 6A. Análisis de varianza de la concentración de Fe en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	15086.696	5028.89859	53.42	<.0001
Error	8	753.05197	94.1315		
Total corregido	11	15839.748			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.952458	3.782918	9.702139	256.4723	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	15086.696	5028.89859	53.42	<.0001

Cuadro 7A. Análisis de varianza de la concentración de Cu en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1650.3775	550.125828	22.76	0.0003
Error	8	193.39573	24.174466		
Total corregido	11	1843.7732			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.895109	3.571228	4.916754	137.6768	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	1650.3775	550.125828	22.76	0.0003

Cuadro 8A. Análisis de varianza de la concentración de Zn en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	5.7621103	1.92070342	0.94	0.4646
Error	8	16.313985	2.03924808		
Total corregido	11	22.076095			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.261011	7.394514	1.428022	19.31192	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	5.7621103	1.92070342	0.94	0.4646

Cuadro 9A. Análisis de varianza de la concentración de Mn en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	26102.189	8700.72972	21.96	0.0003
Error	8	3169.5889	396.19861		
Total corregido	11	29271.778			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.891719	4.394836	19.90474	452.912	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	26102.189	8700.72972	21.96	0.0003

Cuadro 10A. Análisis de varianza de la concentración de B en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	692.53253	230.844177	10.91	0.0034
Error	8	169.24384	21.1554803		
Total corregido	11	861.77637			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.80361	4.914941	4.599509	93.58217	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	692.53253	230.844177	10.91	0.0034

Cuadro 11A. Análisis de varianza de la concentración de Al en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	4756.7666	1585.58888	50.58	<.0001
Error	8	250.78654	31.348318		
Total corregido	11	5007.5532			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Al Media	
	0.949918	4.683585	5.598957	119.5443	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	4756.7666	1585.58888	50.58	<.0001

Cuadro 12A. Análisis de varianza de la concentración de N en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	3.2972917	1.09909722	0.75	0.5535
Error	8	11.76	1.47		
Total corregido	11	15.057292			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.218983	6.176704	1.212436	19.62917	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	3.2972917	1.09909722	0.75	0.5535

Cuadro 13A. Análisis de varianza de la concentración de N en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	46891083	15630361.2	3.1	0.0891
Error	8	40328256	5041032.02		
Total corregido	11	87219340			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.537623	7.979416	2245.224	28137.7	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	46891083	15630361.2	3.1	0.0891

Cuadro 14A. Análisis de varianza de la concentración de K en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	6.551E+09	2183734954	0.42	0.7466
Error	8	4.204E+10	5254894604		
Total corregido	11	4.859E+10			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.134825	26.81042	72490.65	270382.3	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	6.551E+09	2183734954	0.42	0.7466

Cuadro 15A. Análisis de varianza de la concentración de Ca en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	341459944	113819981	2.99	0.096
Error	8	304988688	38123586		
Total corregido	11	646448632			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.528209	8.679337	6174.43	71139.42	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	341459944	113819981	2.99	0.096

Cuadro 16A. Análisis de varianza de la concentración de Mg en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	160020850	53340283.3	3.91	0.0547
Error	8	109255484	13656935.5		
Total corregido	11	269276334			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.594263	6.551146	3695.529	56410.43	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	160020850	53340283.3	3.91	0.0547

Cuadro 17A. Análisis de varianza de la concentración de Fe en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	18557.087	6185.6957	8.92	0.0062
Error	8	5545.0595	693.13244		
Total corregido	11	24102.147			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.769935	14.33133	26.32741	183.7053	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	18557.087	6185.6957	8.92	0.0062

Cuadro 18A. Análisis de varianza de la concentración de Cu en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	266.67932	88.8931059	51.71	<.0001
Error	8	13.752729	1.7190911		
Total corregido	11	280.43205			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.950959	5.219563	1.311141	25.11975	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	266.67932	88.8931059	51.71	<.0001

Cuadro 19A. Análisis de varianza de la concentración de Zn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	232.94033	77.6467762	32.97	<.0001
Error	8	18.839448	2.354931		
Total corregido	11	251.77978			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.925175	5.949285	1.534578	25.79433	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	232.94033	77.6467762	32.97	<.0001

Cuadro 20A. Análisis de varianza de la concentración de Mn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	35480.651	11826.8838	20.35	0.0004
Error	8	4650.274	581.28425		
Total corregido	11	40130.925			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.884122	6.838456	24.10984	352.5626	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	35480.651	11826.8838	20.35	0.0004

Cuadro 21A. Análisis de varianza de la concentración de B en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	269.5419	89.8473014	7.29	0.0112
Error	8	98.634588	12.3293235		
Total corregido	11	368.17649			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.7321	8.098562	3.511314	43.35725	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	269.5419	89.8473014	7.29	0.0112

Cuadro 22A. Análisis de varianza de la concentración de Al en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	5270.5615	1756.85382	80.58	<.0001
Error	8	174.42054	21.802567		
Total corregido	11	5444.982			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Al Media	
	0.967967	6.812252	4.669322	68.543	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	5270.5615	1756.85382	80.58	<.0001

Cuadro 23A. Análisis de varianza de la concentración de N en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	25.837292	8.61243056	2.01	0.1907
Error	8	34.218333	4.27729167		
Total corregido	11	60.055625			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.430223	15.44845	2.068161	13.3875	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	25.837292	8.61243056	2.01	0.1907

Cuadro 24A. Análisis de varianza de la concentración de P en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.6975057	0.2325019	18.14	0.0006
Error	8	0.1025109	0.01281386		
Total corregido	11	0.8000166			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.871864	4.639136	0.113198	2.440073	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	0.6975057	0.2325019	18.14	0.0006

Cuadro 25A. Análisis de varianza de la concentración de K en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	9.8911349	3.29704495	8.48	0.0072
Error	8	3.1089134	0.38861418		
Total corregido	11	13.000048			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.760854	5.707481	0.623389	10.92232	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	9.8911349	3.29704495	8.48	0.0072

Cuadro 26A. Análisis de varianza de la concentración de Ca en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.361924	0.12064133	2.88	0.1027
Error	8	0.3346236	0.04182795		
Total corregido	11	0.6965476			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.519597	3.649927	0.204519	5.603368	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	0.361924	0.12064133	2.88	0.1027

Cuadro 27A. Análisis de varianza de la concentración de Mg en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.0145391	0.33817968	6.05	0.0187
Error	8	0.4468937	0.05586172		
Total corregido	11	1.4614328			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.694208	3.856322	0.236351	6.128919	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	1.0145391	0.33817968	6.05	0.0187

Cuadro 28A. Análisis de varianza de la concentración de Fe en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	4777585.2	1592528.41	33.12	<.0001
Error	8	384715.69	48089.462		
Total corregido	11	5162300.9			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.925476	5.854865	219.2931	3745.485	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	4777585.2	1592528.41	33.12	<.0001

Cuadro 29A. Análisis de varianza de la concentración de Cu en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	115.29	38.4299992	16.41	0.0009
Error	8	18.729856	2.341232		
Total corregido	11	134.01985			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.860246	5.074173	1.530108	30.15483	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	115.29	38.4299992	16.41	0.0009

Cuadro 30A. Análisis de varianza de la concentración de Zn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	29.740488	9.91349611	4.54	0.0387
Error	8	17.464531	2.18306633		
Total corregido	11	47.205019			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.630028	4.096996	1.47752	36.0635	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	29.740488	9.91349611	4.54	0.0387

Cuadro 31A. Análisis de varianza de la concentración de Mn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	14131.514	4710.50476	12.55	0.0022
Error	8	3002.2235	375.27794		
Total corregido	11	17133.738			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.824777	4.540037	19.37209	426.6946	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	14131.514	4710.50476	12.55	0.0022

Cuadro 32A. Análisis de varianza de la concentración de B en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	13.092895	4.36429833	2.2	0.1657
Error	8	15.868831	1.98360383		
Total corregido	11	28.961726			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.452076	4.751836	1.408405	29.63917	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	13.092895	4.36429833	2.2	0.1657

Cuadro 33A. Análisis de varianza de la concentración de Al en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	6239780.4	2079926.8	61.78	<.0001
Error	8	269348.08	33668.511		
Total corregido	11	6509128.5			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Al Media	
	0.95862	4.966408	183.4898	3694.618	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcAl	3	6239780.4	2079926.8	61.78	<.0001

ANEXO B.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

CAPÍTULO III. EFECTO DEL COBALTO EN *Heliconia psittacorum* L.F. X *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

Cuadro 1B. Análisis de varianza de la concentración de N en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	136.57729	45.5257639	0.53	0.6754
Error	8	689.83833	86.2297917		
Total corregido	11	826.41563			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.165265	30.76108	9.286	30.1875	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	136.57729	45.5257639	0.53	0.6754

Cuadro 2B. Análisis de varianza de la concentración de P en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.0373305	0.01244349	2.61	0.1234
Error	8	0.0381081	0.00476351		
Total corregido	11	0.0754385			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.494846	3.626345	0.069018	1.903243	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.0373305	0.01244349	2.61	0.1234

Cuadro 3B. Análisis de varianza de la concentración de K en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	22.065702	7.355234	2.48	0.1349
Error	8	23.682012	2.96025156		
Total corregido	11	45.747714			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.482335	12.17152	1.720538	14.13577	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	22.065702	7.355234	2.48	0.1349

Cuadro 4B. Análisis de varianza de la concentración de Ca en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.2683475	0.08944915	2.13	0.1749
Error	8	0.3362485	0.04203107		
Total corregido	11	0.604596			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.443846	3.913997	0.205015	5.237991	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.2683475	0.08944915	2.13	0.1749

Cuadro 5B. Análisis de varianza de la concentración de Mg en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.1313095	0.04376982	4.75	0.0347
Error	8	0.0737661	0.00922076		
Total corregido	11	0.2050756			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.640298	3.59573	0.096025	2.670523	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.1313095	0.04376982	4.75	0.0347

Cuadro 6B. Análisis de varianza de la concentración de Fe en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	7551.7433	2517.24776	1.65	0.2536
Error	8	12201.685	1525.21062		
Total corregido	11	19753.428			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.3823	16.83125	39.05394	232.0323	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	7551.7433	2517.24776	1.65	0.2536

Cuadro 7B. Análisis de varianza de la concentración de Cu en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1179.8499	393.283316	10.12	0.0042
Error	8	310.74579	38.843224		
Total corregido	11	1490.5957			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.791529	5.091414	6.232433	122.4107	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	1179.8499	393.283316	10.12	0.0042

Cuadro 8B. Análisis de varianza de la concentración de Zn en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	3.5312449	1.17708164	0.65	0.6029
Error	8	14.412008	1.801501		
Total corregido	11	17.943253			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.196801	7.560448	1.3422	17.75292	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	3.5312449	1.17708164	0.65	0.6029

Cuadro 9B. Análisis de varianza de la concentración de Mn en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	43302.017	14434.00556	35.67	<.0001
Error	8	3237.6654	404.70817		
Total corregido	11	46539.682			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.930432	4.088474	20.11736	492.0506	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	43302.017	14434.00556	35.67	<.0001

Cuadro 10B. Análisis de varianza de la concentración de B en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	179.9766	59.9922016	2.05	0.1851
Error	8	233.80257	29.2253208		
Total corregido	11	413.77917			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.434958	6.508471	5.406045	83.06167	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	179.9766	59.9922016	2.05	0.1851

Cuadro 11B. Análisis de varianza de la concentración de Co en hojas de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0	0	.	.
Error	8	0	0		
Total corregido	11	0			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Co Media	
	0	.	0	0	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0	0	.	.

Cuadro 12B. Análisis de varianza de la concentración de N en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	21.590625	7.196875	1.4	0.3122
Error	8	41.16	5.145		
Total corregido	11	62.750625			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.34407	10.24623	2.268259	22.1375	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	21.590625	7.196875	1.4	0.3122

Cuadro 13B. Análisis de varianza de la concentración de P en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.0661527	0.02205088	0.97	0.454
Error	8	0.1823192	0.0227899		
Total corregido	11	0.2484718			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.266238	4.899956	0.150963	3.08091	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.0661527	0.02205088	0.97	0.454

Cuadro 14B. Análisis de varianza de la concentración de K en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	115.28382	38.4279403	0.66	0.5986
Error	8	464.7933	58.0991629		
Total corregido	11	580.07712			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.198739	29.91125	7.622281	25.48299	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	115.28382	38.4279403	0.66	0.5986

Cuadro 15B. Análisis de varianza de la concentración de Ca en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.8108566	0.60361885	2.85	0.1047
Error	8	1.6918079	0.21147598		
Total corregido	11	3.5026644			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.516994	6.646707	0.459865	6.918692	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	1.8108566	0.60361885	2.85	0.1047

Cuadro 16B. Análisis de varianza de la concentración de Mg en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.1778145	0.05927151	0.64	0.6112
Error	8	0.7428034	0.09285043		
Total corregido	11	0.920618			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.193147	5.343044	0.304714	5.702998	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.1778145	0.05927151	0.64	0.6112

Cuadro 17B. Análisis de varianza de la concentración de Fe en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	12010.249	4003.41628	6.36	0.0163
Error	8	5032.5584	629.0698		
Total corregido	11	17042.807			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.704711	14.89258	25.08126	168.4145	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	12010.249	4003.41628	6.36	0.0163

Cuadro 18B. Análisis de varianza de la concentración de Cu en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	309.2633	103.0877668	42.41	<.0001
Error	8	19.445413	2.4306766		
Total corregido	11	328.70871			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.940843	6.76427	1.559063	23.0485	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	309.2633	103.0877668	42.41	<.0001

Cuadro 19B. Análisis de varianza de la concentración de Zn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	204.21865	68.0728834	34.17	<.0001
Error	8	15.936264	1.992033		
Total corregido	11	220.15491			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.927613	5.342193	1.411394	26.41975	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	204.21865	68.0728834	34.17	<.0001

Cuadro 20B. Análisis de varianza de la concentración de Mn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	43868.979	14622.99287	41.42	<.0001
Error	8	2824.2566	353.03208		
Total corregido	11	46693.235			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.939515	4.582474	18.78915	410.0219	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	43868.979	14622.99287	41.42	<.0001

Cuadro 21B. Análisis de varianza de la concentración de B en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	88.763956	29.5879854	7.3	0.0112
Error	8	32.444137	4.0555172		
Total corregido	11	121.20809			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.732327	4.394981	2.013831	45.82117	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	88.763956	29.58798544	7.3	0.0112

Cuadro 22B. Análisis de varianza de la concentración de Co en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0	0	.	.
Error	8	0	0		
Total corregido	11	0			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Co Media	
	0	.	0	0	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0	0	.	.

Cuadro 23B. Análisis de varianza de la concentración de N en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	4.6939583	1.56465278	0.33	0.8032
Error	8	37.778333	4.72229167		
Total corregido	11	42.472292			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.110518	17.76968	2.173083	12.22917	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	4.6939583	1.56465278	0.33	0.8032

Cuadro 24B. Análisis de varianza de la concentración de P en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.2304866	0.07682887	3.66	0.0632
Error	8	0.1679469	0.02099336		
Total corregido	11	0.3984335			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.578482	6.057494	0.144891	2.391928	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.2304866	0.07682887	3.66	0.0632

Cuadro 25B. Análisis de varianza de la concentración de K en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	3.3625696	1.12085652	2.85	0.1054
Error	8	3.1516576	0.3939572		
Total corregido	11	6.5142272			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.516189	5.906428	0.62766	10.62673	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	3.3625696	1.12085652	2.85	0.1054

Cuadro 26B. Análisis de varianza de la concentración de Ca en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.8749755	0.29165851	9.44	0.0053
Error	8	0.2472234	0.03090292		
Total corregido	11	1.1221989			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.779697	3.051915	0.175792	5.760064	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	0.8749755	0.29165851	9.44	0.0053

Cuadro 27B. Análisis de varianza de la concentración de Mg en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.0893103	0.36310344	3.57	0.0664
Error	8	0.8126096	0.10157619		
Total corregido	11	1.9019199			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.572742	5.267835	0.31871	6.050118	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	1.0893103	0.36310344	3.57	0.0664

Cuadro 28B. Análisis de varianza de la concentración de Fe en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	6321457.3	2107152.441	17.94	0.0007
Error	8	939698.55	117462.319		
Total corregido	11	7261155.9			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.870586	8.491758	342.7278	4036.005	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	6321457.3	2107152.441	17.94	0.0007

Cuadro 29B. Análisis de varianza de la concentración de Cu en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	91.323486	30.4411619	14.49	0.0013
Error	8	16.806242	2.1007803		
Total corregido	11	108.12973			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.844573	5.10118	1.449407	28.41317	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	91.323486	30.44116189	14.49	0.0013

Cuadro 30B. Análisis de varianza de la concentración de Zn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	98.63957	32.8798568	35.48	<.0001
Error	8	7.4136167	0.9267021		
Total corregido	11	106.05319			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.930095	2.618676	0.962654	36.76108	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	98.63957	32.87985675	35.48	<.0001

Cuadro 31B. Análisis de varianza de la concentración de Mn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	107226.78	35742.2605	17.76	0.0007
Error	8	16103.074	2012.8842		
Total corregido	11	123329.86			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.869431	9.383487	44.86518	478.1291	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	107226.78	35742.2605	17.76	0.0007

Cuadro 32B. Análisis de varianza de la concentración de B en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	21.302027	7.10067567	1.27	0.3473
Error	8	44.606217	5.57577708		
Total corregido	11	65.908244			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.323207	8.137158	2.361308	29.01883	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	21.302027	7.10067567	1.27	0.3473

Cuadro 33B. Análisis de varianza de la concentración de Co en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	3.9959576	1.33198586	11.72	0.0027
Error	8	0.9088513	0.11360642		
Total corregido	11	4.9048089			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Co Media	
	0.814702	14.71805	0.337056	2.290083	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcCo	3	3.9959576	1.33198586	11.72	0.0027

ANEXO C.
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

CAPÍTULO IV. EFECTO DEL SELENIO EN *Heliconia psittacorum* L.F. X *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

Cuadro 1C. Análisis de varianza de la concentración de N en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	16.315625	5.4385417	1.7	0.2433
Error	8	25.561667	3.1952083		
Total corregido	11	41.877292			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.389606	6.92947	1.787515	25.79583	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	16.315625	5.4385417	1.7	0.2433

Cuadro 2C. Análisis de varianza de la concentración de P en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.2170221	0.0723407	10.71	0.0036
Error	8	0.0540497	0.0067562		
Total corregido	11	0.2710718			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.800607	4.347967	0.082196	1.890451	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	0.2170221	0.0723407	10.71	0.0036

Cuadro 3C. Análisis de varianza de la concentración de K en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	25.094625	8.3648751	6.84	0.0134
Error	8	9.7789304	1.2223663		
Total corregido	11	34.873556			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.719589	7.597179	1.105607	14.55286	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	25.094625	8.3648751	6.84	0.0134

Cuadro 4C. Análisis de varianza de la concentración de Ca en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.3251709	0.4417236	10.27	0.0041
Error	8	0.3440254	0.0430032		
Total corregido	11	1.6691962			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.793898	3.973543	0.207372	5.21882	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	1.3251709	0.4417236	10.27	0.0041

Cuadro 5C. Análisis de varianza de la concentración de Mg en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.2092869	0.0697623	5.83	0.0206
Error	8	0.0956987	0.0119623		
Total corregido	11	0.3049856			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.686219	4.06962	0.109372	2.687536	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	0.2092869	0.0697623	5.83	0.0206

Cuadro 6C. Análisis de varianza de la concentración de Fe en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	626.71953	208.90651	0.8	0.5278
Error	8	2088.6085	261.07606		
Total corregido	11	2715.328			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.230808	7.039577	16.15785	229.5287	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	626.71953	208.90651	0.8	0.5278

Cuadro 7C. Análisis de varianza de la concentración de Cu en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	729.40154	243.13385	7.24	0.0114
Error	8	268.6806	33.585075		
Total corregido	11	998.08214			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.730803	5.273227	5.795263	109.8998	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	729.40154	243.13385	7.24	0.0114

Cuadro 8C. Análisis de varianza de la concentración de Zn en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	12.712351	4.2374504	3.02	0.0938
Error	8	11.220703	1.4025879		
Total corregido	11	23.933055			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.531163	6.53496	1.184309	18.12267	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	12.712351	4.2374504	3.02	0.0938

Cuadro 9C. Análisis de varianza de la concentración de Mn en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	54908.027	18302.676	41.4	<.0001
Error	8	3536.5567	442.06959		
Total corregido	11	58444.584			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.939489	4.190861	21.02545	501.6977	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	54908.027	18302.676	41.4	<.0001

Cuadro 10C. Análisis de varianza de la concentración de B en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	93.994442	31.331481	1.12	0.3979
Error	8	224.47381	28.059226		
Total corregido	11	318.46825			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.295145	6.037637	5.297096	87.73458	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	93.994442	31.331481	1.12	0.3979

Cuadro 11C. Análisis de varianza de la concentración de Se en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	316.03116	105.34372	2.98	0.0961
Error	8	282.42	35.3025		
Total corregido	11	598.45116			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Se Media	
	0.528082	46.23146	5.941591	12.85183	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	316.03116	105.34372	2.98	0.0961

Cuadro 12C. Análisis de varianza de la concentración de N en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	174.36229	58.120764	2.4	0.1435
Error	8	193.91833	24.239792		
Total corregido	11	368.28063			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.47345	20.87289	4.923392	23.5875	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	174.36229	58.120764	2.4	0.1435

Cuadro 13C. Análisis de varianza de la concentración de P en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.3504997	0.1168332	13.48	0.0017
Error	8	0.0693153	0.0086644		
Total corregido	11	0.4198149			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.834891	3.188335	0.093083	2.919479	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	0.3504997	0.1168332	13.48	0.0017

Cuadro 14C. Análisis de varianza de la concentración de K en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	20.61271	6.8709032	0.2	0.893
Error	8	273.85619	34.232024		
Total corregido	11	294.4689			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.07	21.55908	5.850814	27.13851	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	20.612709	6.8709032	0.2	0.893

Cuadro 15C. Análisis de varianza de la concentración de Ca en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.7349171	0.2449724	2.02	0.19
Error	8	0.9711886	0.1213986		
Total corregido	11	1.7061057			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.430757	4.94487	0.348423	7.04615	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	0.7349171	0.2449724	2.02	0.19

Cuadro 16C. Análisis de varianza de la concentración de Mg en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.1725799	0.0575266	2.11	0.1778
Error	8	0.2185164	0.0273146		
Total corregido	11	0.3910963			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.441272	2.901467	0.165271	5.696123	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	0.1725799	0.0575266	2.11	0.1778

Cuadro 17C. Análisis de varianza de la concentración de Fe en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	5031.3582	1677.1194	8.49	0.0072
Error	8	1579.4104	197.4263		
Total corregido	11	6610.7686			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.761085	10.3161	14.05085	136.2031	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	5031.3582	1677.1194	8.49	0.0072

Cuadro 18C. Análisis de varianza de la concentración de Cu en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	282.04528	94.015093	89.16	<.0001
Error	8	8.4359167	1.0544896		
Total corregido	11	290.48119			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.970959	4.136642	1.026883	24.82408	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	282.04528	94.015093	89.16	<.0001

Cuadro 19C. Análisis de varianza de la concentración de Zn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	194.22574	64.741913	30	0.0001
Error	8	17.267195	2.1583993		
Total corregido	11	211.49293			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.918356	5.392445	1.469149	27.24458	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	194.22574	64.741913	30	0.0001

Cuadro 20C. Análisis de varianza de la concentración de Mn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	63266.681	21088.894	415.06	<.0001
Error	8	406.46939	50.80867		
Total corregido	11	63673.15			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.993616	1.669059	7.12802	427.0683	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	63266.681	21088.894	415.06	<.0001

Cuadro 21C. Análisis de varianza de la concentración de B en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	16.020254	5.3400846	1.83	0.2191
Error	8	23.294676	2.9118345		
Total corregido	11	39.31493			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.407485	3.836166	1.70641	44.48217	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	16.020254	5.3400846	1.83	0.2191

Cuadro 22C. Análisis de varianza de la concentración de Se en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	37.185595	12.395198	0.68	0.5859
Error	8	144.78305	18.097881		
Total corregido	11	181.96864			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Se Media	
	0.204352	40.08663	4.25416	10.61242	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	37.185595	12.395198	0.68	0.5859

Cuadro 23C. Análisis de varianza de la concentración de N en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	412.46	137.48667	2.89	0.1022
Error	8	380.56667	47.570833		
Total corregido	11	793.02667			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.520109	41.97056	6.897161	16.43333	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	412.46	137.48667	2.89	0.1022

Cuadro 24C. Análisis de varianza de la concentración de P en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.1302902	0.0434301	1.83	0.2194
Error	8	0.1896396	0.023705		
Total corregido	11	0.3199298			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.407246	6.462503	0.153964	2.382423	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	0.1302902	0.0434301	1.83	0.2194

Cuadro 25C. Análisis de varianza de la concentración de K en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	87.687526	29.229175	1.38	0.3177
Error	8	169.692	21.2115		
Total corregido	11	257.37953			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.340693	37.06422	4.605594	12.42599	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	87.687526	29.229175	1.38	0.3177

Cuadro 26C. Análisis de varianza de la concentración de Ca en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.5446273	0.5148758	1.37	0.3197
Error	8	3.0052239	0.375653		
Total corregido	11	4.5498511			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.33949	10.97488	0.612905	5.584619	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	1.5446273	0.5148758	1.37	0.3197

Cuadro 27C. Análisis de varianza de la concentración de Mg en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.7242883	0.5747628	21.3	0.0004
Error	8	0.2158511	0.0269814		
Total corregido	11	1.9401393			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.888745	2.784019	0.16426	5.900108	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	1.7242883	0.5747628	21.3	0.0004

Cuadro 28C. Análisis de varianza de la concentración de Fe en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	8814287.6	2938095.9	6.22	0.0174
Error	8	3779295.4	472411.93		
Total corregido	11	12593583			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.699903	22.39741	687.3223	3068.758	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	8814287.6	2938095.9	6.22	0.0174

Cuadro 29C. Análisis de varianza de la concentración de Cu en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	100.08028	33.360094	8.94	0.0062
Error	8	29.855148	3.7318935		
Total corregido	11	129.93543			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.770231	7.062498	1.931811	27.35308	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	100.08028	33.360094	8.94	0.0062

Cuadro 30C. Análisis de varianza de la concentración de Zn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	132.1021	44.034035	4.38	0.0422
Error	8	80.499511	10.062439		
Total corregido	11	212.60161			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.62136	9.159174	3.172135	34.63342	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	132.1021	44.034035	4.38	0.0422

Cuadro 31C. Análisis de varianza de la concentración de Mn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	8567.9946	2855.9982	2.88	0.1028
Error	8	7927.4635	990.93293		
Total corregido	11	16495.458			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.519415	7.885573	31.47909	399.1985	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	8567.9946	2855.9982	2.88	0.1028

Cuadro 32C. Análisis de varianza de la concentración de B en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	54.203124	18.067708	0.79	0.5304
Error	8	181.88138	22.735173		
Total corregido	11	236.0845			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.229592	16.67693	4.768141	28.59125	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	54.203124	18.067708	0.79	0.5304

Cuadro 33C. Análisis de varianza de la concentración de Se en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	107.03645	35.678817	1.18	0.3773
Error	8	242.37046	30.296307		
Total corregido	11	349.40691			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Se Media	
	0.306338	59.21262	5.504208	9.295667	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSe	3	107.03645	35.678817	1.18	0.3773

ANEXO D.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

CAPÍTULO V. EFECTO DEL SILICIO EN *Heliconia psittacorum* L.F. X *H. spathocircinata* cv. GOLDEN TORCH ADRIAN

Cuadro 1D. Análisis de varianza de la concentración de N en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	25.933958	8.6446528	2.29	0.1557
Error	8	30.258333	3.7822917		
Total corregido	11	56.192292			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.461522	7.096773	1.944811	27.40417	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	25.933958	8.6446528	2.29	0.1557

Cuadro 2D. Análisis de varianza de la concentración de P en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.1619845	0.0539948	2.99	0.0957
Error	8	0.1444063	0.0180508		
Total corregido	11	0.3063908			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.528686	7.5603	0.134353	1.777088	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.1619845	0.0539948	2.99	0.0957

Cuadro 3D. Análisis de varianza de la concentración de K en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	10.402571	3.4675236	1.45	0.2988
Error	8	19.115347	2.3894184		
Total corregido	11	29.517918			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.352415	10.83532	1.545774	14.26608	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	10.402571	3.4675236	1.45	0.2988

Cuadro 4D. Análisis de varianza de la concentración de Ca en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.5520789	0.1840263	1.03	0.428
Error	8	1.4240074	0.1780009		
Total corregido	11	1.9760863			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.27938	8.116484	0.421902	5.198083	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.5520789	0.1840263	1.03	0.428

Cuadro 5D. Análisis de varianza de la concentración de Mg en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.3042358	0.1014119	3.03	0.0933
Error	8	0.2677805	0.0334726		
Total corregido	11	0.5720162			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.531866	7.000999	0.182955	2.613271	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.3042358	0.1014119	3.03	0.0933

Cuadro 6D. Análisis de varianza de la concentración de Fe en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	2204.4653	734.82177	4.06	0.0502
Error	8	1448.5352	181.0669		
Total corregido	11	3653.0005			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.603467	5.248284	13.45611	256.3907	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	2204.4653	734.82177	4.06	0.0502

Cuadro 7D. Análisis de varianza de la concentración de Cu en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	34536.696	11512.232	122.12	<.0001
Error	8	754.15476	94.26934		
Total corregido	11	35290.851			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.97863	5.605382	9.70924	173.2128	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	34536.696	11512.232	122.12	<.0001

Cuadro 8D. Análisis de varianza de la concentración de Zn en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	24.342573	8.1141909	2.8	0.1085
Error	8	23.16889	2.8961113		
Total corregido	11	47.511463			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.512352	8.69402	1.701796	19.57433	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	24.342573	8.1141909	2.8	0.1085

Cuadro 9D. Análisis de varianza de la concentración de Mn en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	39644.504	13214.835	11.56	0.0028
Error	8	9148.2657	1143.5332		
Total corregido	11	48792.77			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.812508	7.148014	33.81617	473.0848	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	39644.504	13214.835	11.56	0.0028

Cuadro 10D. Análisis de varianza de la concentración de B en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1076.0819	358.69398	5.15	0.0284
Error	8	556.97299	69.621624		
Total corregido	11	1633.0549			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.658938	9.32218	8.343957	89.5065	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	1076.0819	358.69398	5.15	0.0284

Cuadro 11D. Análisis de varianza de la concentración de Si en hoja de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	9005.7294	3001.9098	2.39	0.1448
Error	8	10068.291	1258.5364		
Total corregido	11	19074.02			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Si Media	
	0.472146	71.26862	35.47586	49.77767	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	9005.7294	3001.9098	2.39	0.1448

Cuadro 12D. Análisis de varianza de la concentración de N en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	96.929167	32.309722	2.13	0.1743
Error	8	121.20833	15.151042		
Total corregido	11	218.1375			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.444349	17.24223	3.892434	22.575	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	96.929167	32.309722	2.13	0.1743

Cuadro 13D. Análisis de varianza de la concentración de P en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.9282343	0.3094114	6.96	0.0128
Error	8	0.3556659	0.0444582		
Total corregido	11	1.2839002			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.72298	7.853631	0.210851	2.684761	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.9282343	0.3094114	6.96	0.0128

Cuadro 14D. Análisis de varianza de la concentración de K en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	5.9849108	1.9949703	0.05	0.9825
Error	8	297.98941	37.248676		
Total corregido	11	303.97432			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.019689	23.1321	6.103169	26.38398	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	5.9849108	1.9949703	0.05	0.9825

Cuadro 15D. Análisis de varianza de la concentración de Ca en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.075418	0.0251394	0.04	0.9882
Error	8	4.943047	0.6178809		
Total corregido	11	5.018465			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.015028	10.78662	0.786054	7.287304	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.075418	0.0251394	0.04	0.9882

Cuadro 16D. Análisis de varianza de la concentración de Mg en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.3797607	0.4599202	3.03	0.0936
Error	8	1.2161919	0.152024		
Total corregido	11	2.5959526			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.531505	7.248142	0.389903	5.379345	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	1.3797607	0.4599202	3.03	0.0936

Cuadro 17D. Análisis de varianza de la concentración de Fe en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	14909.87	4969.9566	3.94	0.0536
Error	8	10081.034	1260.1293		
Total corregido	11	24990.904			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.596612	17.68173	35.4983	200.7626	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	14909.87	4969.9566	3.94	0.0536

Cuadro 18D. Análisis de varianza de la concentración de Cu en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	174.79782	58.265939	7.38	0.0108
Error	8	63.119084	7.8898855		
Total corregido	11	237.9169			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.734701	9.458909	2.808894	29.69575	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	174.79782	58.265939	7.38	0.0108

Cuadro 19D. Análisis de varianza de la concentración de Zn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	196.13924	65.379748	10.7	0.0036
Error	8	48.891731	6.1114663		
Total corregido	11	245.03097			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.800467	9.327737	2.472138	26.50308	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	196.13924	65.379748	10.7	0.0036

Cuadro 20D. Análisis de varianza de la concentración de Mn en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	36805.286	12268.429	19.8	0.0005
Error	8	4957.7476	619.71846		
Total corregido	11	41763.033			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.881289	6.85897	24.89415	362.9429	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	36805.286	12268.429	19.8	0.0005

Cuadro 21D. Análisis de varianza de la concentración de B en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	54.758377	18.252792	2.03	0.1879
Error	8	71.838377	8.9797972		
Total corregido	11	126.59675			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.432542	7.130125	2.996631	42.02775	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	54.758377	18.252792	2.03	0.1879

Cuadro 22D. Análisis de varianza de la concentración de Si en tallo de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	995.45707	331.81903	1.71	0.2411
Error	8	1549.3714	193.67143		
Total corregido	11	2544.8285			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Si Media	
	0.391169	50.51424	13.91659	27.54983	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	995.45707	331.81902	1.71	0.2411

Cuadro 23D. Análisis de varianza de la concentración de N en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	28.667292	9.5557639	1.15	0.3879
Error	8	66.725	8.340625		
Total corregido	11	95.392292			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	N Media	
	0.30052	21.22889	2.888014	13.60417	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	28.667292	9.5557639	1.15	0.3879

Cuadro 24D. Análisis de varianza de la concentración de P en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.0848866	0.0282955	6.86	0.0133
Error	8	0.0329891	0.0041236		
Total corregido	11	0.1178757			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	P Media	
	0.720136	2.678064	0.064216	2.397836	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.0848866	0.0282955	6.86	0.0133

Cuadro 25D. Análisis de varianza de la concentración de K en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	5.9098512	1.9699504	15.66	0.001
Error	8	1.0061849	0.1257731		
Total corregido	11	6.9160361			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	K Media	
	0.854514	3.200869	0.354645	11.07965	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	5.9098512	1.9699504	15.66	0.001

Cuadro 26D. Análisis de varianza de la concentración de Ca en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	0.7451128	0.2483709	9.17	0.0057
Error	8	0.2166652	0.0270832		
Total corregido	11	0.961778			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Ca Media	
	0.774724	3.123068	0.16457	5.269485	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	0.7451128	0.2483709	9.17	0.0057

Cuadro 27D. Análisis de varianza de la concentración de Mg en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	1.1008969	0.3669656	6.28	0.0169
Error	8	0.4672809	0.0584101		
Total corregido	11	1.5681778			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mg Media	
	0.702023	4.08803	0.241682	5.911939	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	1.1008969	0.3669656	6.28	0.0169

Cuadro 28D. Análisis de varianza de la concentración de Fe en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	7173093.8	2391031.3	24.81	0.0002
Error	8	770991.94	96373.993		
Total corregido	11	7944085.7			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Fe Media	
	0.902948	8.828544	310.4416	3516.34	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	7173093.8	2391031.3	24.81	0.0002

Cuadro 29D. Análisis de varianza de la concentración de Cu en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	17.652034	5.8840112	2.74	0.1134
Error	8	17.205547	2.1506933		
Total corregido	11	34.85758			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Cu Media	
	0.506404	5.154335	1.466524	28.45225	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	17.652034	5.8840112	2.74	0.1134

Cuadro 30D. Análisis de varianza de la concentración de Zn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	177.93816	59.312721	27.27	0.0001
Error	8	17.400904	2.175113		
Total corregido	11	195.33907			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Zn Media	
	0.910919	4.099217	1.474826	35.97825	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	177.93816	59.312721	27.27	0.0001

Cuadro 31D. Análisis de varianza de la concentración de Mn en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	7828.7281	2609.576	37.25	<.0001
Error	8	560.46597	70.058246		
Total corregido	11	8389.1941			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Mn Media	
	0.933192	2.2018	8.37008	380.1472	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	7828.7281	2609.576	37.25	<.0001

Cuadro 32D. Análisis de varianza de la concentración de B en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	26.977843	8.9926143	3.94	0.0538
Error	8	18.275366	2.2844208		
Total corregido	11	45.253209			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	B Media	
	0.596153	5.462441	1.51143	27.6695	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	26.977843	8.9926143	3.94	0.0538

Cuadro 33D. Análisis de varianza de la concentración de Si en raíz de heliconia Adrian en cultivo hidropónico.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	3	16019.091	5339.6969	10.4	0.0039
Error	8	4106.3232	513.2904		
Total corregido	11	20125.414			
	R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	Si Media	
	0.795963	47.52607	22.65591	47.6705	
Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ConcSi	3	16019.091	5339.6969	10.4	0.0039