



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

## TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y LUZ PARA ALMACENAMIENTO DE TALLOS FLORALES DE *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

KARINA PATRICIA BAÑUELOS HERNÁNDEZ

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2012

La presente tesis titulada: **Temperatura, humedad relativa y luz para almacenamiento de tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica**, realizada por la alumna **Karina Patricia Bañuelos Hernández** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**BOTÁNICA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO

---

DR. JOSÉ RODOLFO GARCÍA NAVA

ASESOR

---

DR. OTTO RAÚL LEYVA OVALLE

ASESORA

---

DRA. CECILIA BEATRIZ PEÑA VALDIVIA

ASESORA

---

DRA. MA. CARMEN YBARRA MONCADA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2012

## DEDICATORIA

*A mis padres, Alejandro Sañuelos y Adela Hernández por su apoyo y amor incondicional, por hacer de mí la persona que soy y alentarme en cada proyecto que emprendo y sobre todo por ser los mejores padres que pude tener.*

*¡Gracias!, los amo.*

*A mis hermanas; Heidi y Perla, por todos los momentos vividos.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo brindado durante mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, por brindarme herramientas valiosas para mi desarrollo profesional y académico.

Al Dr. José Rodolfo García Nava, por el apoyo, paciencia y confianza que me demostró en todo momento, por dedicar tantas horas a la realización de este proyecto.

Al Dr. Otto Raúl Leyva Ovalle, mi gran maestro en el mundo de las ornamentales tropicales, por otorgarme su apoyo y amistad incondicional y alentarme a cumplir mis metas. ¡Mil gracias!

A la Dra. Cecilia Beatriz Peña Valdivia, por la asesoría, dedicación y paciencia que siempre me mostró y las atinadas sugerencias para mejorar el presente trabajo.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada, por la infinita paciencia que tuvo durante mis asesorías estadísticas.

A los profesores que contribuyeron en mi formación durante mi estancia en el CP.

A la Sra. Irma y los Sres. Álvaro y Ricardo por su gran apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Al señor Tayde Gutiérrez y la señora Roque de Gutiérrez por abrirme las puertas de su plantación para elegir los tallos florales utilizados en esta investigación.

A mi compañeros y amigos, Mayra, Fran, Ana, Gaby, Noris, Maki, Luis, Yuri, Paul, Caty, Paco, etc., etc., etc., por brindarme su amistad y confianza.

A Gerardo Torres, por el inmenso amor que me demuestra día a día, por hacer de esta etapa la más feliz de mi vida, por apaciguar mis miedos, engrandecer mi alma y sostener mi mano mientras alcanzamos nuestros sueños. Todo se resume en dos palabras: TE AMO.

A Dios, por todas las bendiciones que tengo, por la fuerza, el amor y la paz que me brinda, por hacerme una persona feliz.

## CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	7
2.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL MERCADO ORNAMENTAL .....	7
2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE <i>H. PSITTACORUM</i> L. F. CV. TRÓPICA.....	8
2.3 MANEJO POSTCOSECHA DE FLORES DE CORTE .....	10
2.4 MANEJO POSTCOSECHA DE TALLOS FLORALES DE <i>HELICONIA</i> SSP.....	11
2.5 ESTRÉS FISIOLÓGICO POR CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO .....	13
2.5.1 EFECTOS DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y LUZ EN LAS FLORES DE CORTE .....	14
2.6 VIDA EN FLORERO.....	17
2.7 SENESCENCIA .....	18
2.9 LITERATURA CITADA.....	22
CAPÍTULO III. EFECTO DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y LUZ EN TALLOS FLORALES DE <i>HELICONIA PSITTACORUM</i> L. F. CV. TRÓPICA DURANTE EL ALMACENAMIENTO .....	28
3.1 RESUMEN .....	28
ABSTRACT .....	29
3.2 INTRODUCCIÓN .....	30
3.5 MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
3.5.3 Corte y traslado de tallos florales.....	33
3.5.4.1. Tratamientos ensayados: temperatura, humedad relativa y luz.....	33
3.5.4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	34
3.5.5.1 Pérdida de biomasa húmeda .....	36
3.5.5.2 Cambios de coloración en las brácteas .....	36
3.5.7 Clorofila.....	37
3.5.8 Tasa de transpiración indirecta .....	39
3.5.9 Contenido relativo de agua (CRA) .....	39
3.5.10 Daño y la permeabilidad de las membranas celulares.....	39
3.5.11 Análisis de la actividad de peroxidasas .....	40
3.6 RESULTADOS.....	42
3.6.1 Pérdida de biomasa fresca .....	42
3.6.2 Cambios de la coloración de las brácteas .....	45

<i>Eje rojo-verde (a*)</i> .....	55
<i>Eje amarillo-azul (b*)</i> .....	58
3.6.3 <i>Clorofila</i> .....	61
3.6.4 <i>Transpiración</i> .....	65
3.6.5 <i>Contenido relativo de agua (CRA)</i> .....	68
3.6.6. <i>Daño y permeabilidad de las membranas celulares</i> .....	72
3.6.7. <i>Actividad de peroxidasas</i> .....	74
3.8 DISCUSIÓN.....	76
<i>Pérdida de Biomasa fresca</i> .....	76
<i>Cambios en coloración de las brácteas</i> .....	77
<i>Clorofila</i> .....	78
<i>Transpiración</i> .....	80
<i>Contenido relativo de agua (CRA)</i> .....	81
<i>Daño en membranas</i> .....	83
<i>Peroxidasa (POX)</i> .....	85
3.9 CONCLUSIONES.....	87
3.10 LITERATURA CITADA.....	88
CAPÍTULO IV. ACTIVIDADES METABÓLICAS QUE PROPICIAN LA	
SENESCENCIA EN TALLOS FLORALES DE <i>HELICONIA PSITTACORUM</i> L. F.	
CV. TRÓPICA.....	96
4.1 RESUMEN.....	96
ABSTRACT.....	97
4.2 INTRODUCCIÓN.....	98
4.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	100
4.5.1 <i>Evaluación de la intensidad respiratoria (CO<sub>2</sub>)</i> .....	100
4.5.2 <i>Determinación de la liberación de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</i> .....	102
4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	103
4.7 RESULTADOS.....	104
4.7.1 <i>Actividad respiratoria</i> .....	104
4.7.2 <i>Liberación de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</i> .....	107
4.8 DISCUSIÓN.....	110
<i>Respiración</i> .....	110
<i>Liberación de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</i> .....	113
4.9 CONCLUSIONES.....	115
4.10 LITERATURA CITADA.....	116
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	
	121

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3. 1. Temperatura, H.R. y luz evaluadas para identificar la condición óptima de almacenamiento en postcosecha de tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	33
Cuadro 3. 2. Variables respuesta, método y equipo utilizados.....	35
Cuadro 3. 3. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la pérdida de biomasa húmeda en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	43
Cuadro 3. 4. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos sobre la pérdida de biomasa húmeda en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	44
Cuadro 3. 5. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la luminosidad en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	46
Cuadro 3. 6. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos sobre la luminosidad en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	47
Cuadro 3. 7. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre a* en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	56
Cuadro 3. 8. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre a* en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	57
Cuadro 3. 9. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre b* en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	59
Cuadro 3. 10. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre b* en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	60
Cuadro 3. 11. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la clorofila en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	62
Cuadro 3. 12. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la clorofila en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	63
Cuadro 3. 13. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la transpiración en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	66
Cuadro 3. 14. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la transpiración en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	67
Cuadro 3. 15. Prueba Tukey para el CRA de la zona basal del escapo floral de los tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica durante los días de evaluación 6 y 10.....	69

Cuadro 3. 16. . Prueba de Tukey para el CRA de la zona apical del escapo floral de los tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica durante los días de evaluación 6, 8 y 10.....	71
Cuadro 3. 17. Prueba de Tukey para el índice de daño en membranas celulares de los tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica durante los 10 días de almacenaje. ....	73
Cuadro 3. 18. Prueba de Tukey para peroxidasa en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica durante los 10 días de almacenaje. ....	75
Cuadro 4. 1. Tratamientos ensayados para determinar el efecto de la temperatura, H.R., luz y presencia de hojas sobre tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	100
Cuadro 4. 1. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la respiración en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	108
Cuadro 4. 3. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la respiración en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Inflorescencia de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	9
Figura 2. 2. Inflorescencia de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica con los primeros síntomas de senescencia .....	20
Figura 3. 1. Localización de Campo Chico, Ixtaczoquitlán, Veracruz. ....	32
Figura 3.3. Escala de color CIE: L*, a*, b*. ....	37
Figura 3.4. Área de medición para las unidades SPAD para determinación del contenido de clorofila indirecta.....	38
Figura 3.5. Biomasa húmeda en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.. .....	42
Figura 3.6. Biomasa húmeda perdida por tallos florales de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	44
Figura 3.7. Cambios en luminosidad de brácteas florales de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. Trópica ..	45
Figura 3.8. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	48
Figura 3.9. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	49
Figura 3.10. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	50
Figura 3.11. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	51
Figura 3.12. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	52
Figura 3.13. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	53
Figura 3.14. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	54
Figura 3.15. Cambios en coloración para el eje a* en tallos florales de <i>Heliconia</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	55
Figura 3.16. Cambios en coloración para el eje b* en tallos florales de <i>Heliconia</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	58
Figura 3.17. Clorofila en tallos florales de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. Trópica..	61
Figura 3.18. Clorofila en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	64
Figura 3.19. Transpiración en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	65
Figura 3.20. Transpiración expresada en porcentaje de tallos florales de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	67
Figura 3.21. Contenido relativo de agua en la zona basal del escapo floral de <i>H.</i> <i>psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	68

Figura 3.22. Contenido relativo de agua en la zona apical del escapo floral de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	70
Figura 3.23. Índice de daño en membranas celulares en tallos florales de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	72
Figura 3.24. Peroxidasa en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica. ....	74
Figura 4. 1. Contenedores cilíndricos para la toma de muestra de etileno.....	101
Figura 4. 2 Intensidad respiratoria en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica .....	104
Figura 4. 3. Liberación de etileno en tallos florales de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica.....	107
Figura 4. 4. Inflorescencias de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica al inicio del experimento de respiración y liberación de etileno.....	108
Figura 4. 5. Inflorescencias de <i>H. psittacorum</i> L. f. cv. Trópica al final del experimento de respiración y liberación de etileno .....	109

## TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y LUZ PARA ALMACENAMIENTO DE TALLOS FLORALES DE *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

Karina Patricia Bañuelos Hernández, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2012

La especie *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica se ha identificado en los últimos años como una ornamental tropical con gran demanda debido a su belleza y a su vida postcosecha prolongada, que puede superar los 15 días; sin embargo, se desconoce el manejo postcosecha adecuado durante su comercialización. El objetivo de este estudio fue identificar las condiciones adecuadas para el almacenamiento postcosecha de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica. Se postula que la combinación adecuada de temperatura, H.R. y luz contribuirían a conservar la calidad de las inflorescencias durante la comercialización. Los tallos florales evaluados se obtuvieron de una plantación comercial en Campo Chico, municipio de Iztaczoquitlán, Veracruz. Inicialmente se establecieron siete tratamientos (T), en cámaras con ambiente controlado, en los que se varió la temperatura (de 12 a 26 °C), H.R. (de 37 a 90 %), luz (de 0 a 150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Se utilizó un diseño experimental en medidas repetidas para las variables no destructivas y un diseño completamente al azar para las variables destructivas, donde un tallo floral fue la unidad experimental y cada tratamiento tuvo tres repeticiones. El análisis de los resultados incluyó pruebas de comparación de medias de Tukey y *t* con  $\alpha=0.05$ . Durante 10 d se determinó la pérdida de biomasa fresca, los cambios de coloración de las brácteas florales, el contenido de clorofila, la transpiración, contenido relativo de agua (CRA) en la base y ápice del escapo (área de fusión con la inflorescencia), índice de daño de membranas celulares y actividad de peroxidasa. Los tratamientos que mantuvieron la calidad de los tallos, fueron 15 °C-63 % H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  y 12 °C-90 % H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Con base en estos resultados se evaluó la liberación de etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) y respiración en presencia o ausencia de hojas en los siguientes tratamientos: 15 °C, 63 % H.R. y 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  en los tallos con y sin ellas, y 12 °C, 90 % H.R. y 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  sin hojas, este último generó la liberación menor de  $\text{CO}_2$ . Entre las condiciones

evaluadas no se encontraron diferencias significativas en la liberación de etileno ni contenido de clorofila. Las condiciones seleccionadas mantuvieron la calidad de las inflorescencias después de 10 d de almacenamiento.

Palabras clave: Almacenamiento, *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica, humedad relativa, luz, temperatura

## STORAGE TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY AND LIGHT OF FLOWERING STEMS OF *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

Karina Patricia Bañuelos Hernández, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2012

*Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica is a tropical ornamental flower that had in recent years an increase in demand. This flower has great beauty and long postharvest life that may exceed 15 days. However, is unknown the adequate postharvest environmental conditions during their storage. The objective of this study was to identify suitable postharvest storage conditions of the flowering stems of *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica. There is a right combination of temperature, relative humidity and light that will help to preserve and improve the quality of inflorescences during marketing. The flowering stems tested were obtained from a commercial plantation in Campo Chico, Iztaczoquitlán, Veracruz. Initially seven treatments (T) were established in controlled environment chambers. The temperature was in the range of 12-26°C, relative humidity (37-90%) and light (0-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). We used a repeated measures experimental design for nondestructive variables and a completely randomized design for destructive variables. Each flower stem was considered an experimental unit and each treatment consisted of three replicates. The analysis of the results included mean comparison test of Tukey and  $t$  with  $\alpha = 0.05$ . The storage was for ten days. It was evaluated: the loss of fresh biomass, changes in color of the floral bracts, chlorophyll content, transpiration, relative water content (RWC) in the basal and apical scape (fusion area with the inflorescence), the damage index in cell membranes and the peroxidase enzyme activity. The combination of conditions corresponding to 15°C-63% RH-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (T5) and 12°C-90% RH-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (T7) preserved the quality characteristics on the stems. Based on these results was assessed the release of ethylene and respiration, in presence or absence of leaves in four treatments. The combinations of conditions that preserved the quality were three: 15°C, 63% H.R. y 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  in stems with leaves (T2) and leafless stems (T1), and 12°C, 90% H.R. y 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  on leafless stems (T3), where the

latter showed the lowest release of CO<sub>2</sub>. In none of the conditions tested were significant differences in the release of ethylene and chlorophyll content. It was concluded that the selected conditions maintained a good standard of inflorescences after ten days of storage.

Keywords: *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica, light, relative humidity, storage, temperature

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La floricultura es el arte y conocimiento para perfeccionar el cultivo de flores. Actualmente es una actividad remunerativa en todo el mundo que incluye cuidados intensivos para cumplir con los niveles de calidad altos del mercado y promueve el cultivo de tejidos, tecnología e investigación en la postcosecha (Chattopadhyay, 2007).

La industria floral incluye el cultivo y venta de flores de corte, follaje, plantas en maceta y plántulas, principalmente de rosas (*Rosa* sp.), crisantemos (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.), claveles (*Dianthus caryophyllus* L.) y lilis [*Agapanthus africanus* (L.) Hoffmanns.]; y las flores de corte y plantas en maceta representan 80 % del comercio mundial de ornamentales (Chattopadhyay, 2007). Sin embargo, la diversidad de especies comercializadas es una de las principales características que condicionan el éxito en este sector, ya que recientemente las tendencias en el diseño floral se caracterizan por la innovación con elementos coloridos y formas exóticas, sin dejar de lado la duración en florero. Estas características son cubiertas por las ornamentales de origen tropical conocidas como heliconias. Las heliconias son pertenecientes a la familia Heliconiaceae, del orden de los zingiberales, son especies neotropicales; 98% de ellas se distribuye en Centro, Sudamérica y el caribe, mientras que el resto se ubican en islas del Pacífico Sur (Berry y Kress, 1991).

Estudios botánicos y taxonómicos muestran que existen alrededor de 225 especies; de ellas, únicamente se han descrito 180 (Jerez, 2007). Colombia es el país con mayor número de endemismos de estas especies, seguido por Brasil, Costa Rica, Perú, Ecuador, Venezuela, Bolivia y México. En nuestro país se han identificado 16 especies, de las que la mayoría presenta potencial ornamental (Hoyos, 1986; Madriz *et al.*, 1991; Berry y Kress, 1991; Gutiérrez- Báez, 2000; Kress *et al.*, 2004; Sosa, 2004).

Debido a la gran importancia ornamental de este género y al incremento de la demanda de sus especies, los productores de heliconias se ven cada vez más interesados en obtener ejemplares con calidad superior; quizá, mediante el mejoramiento genético, la obtención de mayor cantidad de híbridos, la producción de variedades nuevas, que innoven el mercado ornamental, además identificar las condiciones mejores de manejo durante el almacenaje para conservar o alargar su longevidad.

Sin embargo, a pesar de las cualidades de estas especies, los estudios detallados sobre el manejo postcosecha adecuado son limitados. Al respecto, Costa *et al.* (2011a) evaluaron el almacenamiento de tallos florales de *H. bihai* (L.) cv. Lobster Claw en temperaturas bajas y Costa *et al.* (2011b) determinaron los síntomas de senescencia y daño por frío en inflorescencias de *H. bihai* (L.) de las variedades Lobster Claw y Halloween.

Entre la literatura especializada parecen inexistentes los estudios de las condiciones adecuadas para el almacenaje en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica, por lo que el objetivo de este estudio fue definir las condiciones para lograr el almacenaje adecuado de este producto ornamental.

## CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia económica del mercado ornamental

La floricultura actualmente es una actividad económica mundial importante. En los últimos años, el comercio de flores ha representado en un negocio con gran rentabilidad del sector agropecuario por la demanda continua de especies y variedades nuevas (Devia, 1995).

El consumo mundial de flores equivale a 30 billones de euros, mientras que el europeo es el mayor, pues comercializa alrededor del 50 % de las flores en el mundo (Díaz, 2006).

En años recientes, el mercado ornamental mexicano ha mostrado una tendencia creciente que puede representar un apoyo importante para la economía nacional. Un aspecto fundamental para el desarrollo del mercado ornamental en nuestro país es la gran diversidad de climas, ya que permite el desarrollo de una gama amplia de especies ornamentales, con valor estimado en 3,600 millones de pesos anuales (Secretaría de Economía, 2007).

De acuerdo con datos de SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2011), los estados productores principales de flores del país son el Estado de México, Morelos, Guerrero, Puebla, Michoacán y Baja California Sur. Entre las especies más cultivadas están las gladiolas (*Gladiolus* spp), crisantemos (*Dendranthema grandiflorum*), rosas (*Rosa* spp) y claveles (*Dianthus caryophyllus*); además, en los últimos años se ha observado crecimiento de la producción de lirios (*Lirio* spp), tulipanes (*Tulipa* spp) y gerberas (*Gerbera jamesonii*). En promedio, 90 % de la producción se destina al mercado interno y sólo 10 % es exportado, principalmente a Estados Unidos.

Sin embargo, un sector del mercado nacional poco explotado es el de las flores tropicales, como las pertenecientes al género *Heliconia*, conocidas como

“platanillos”. Este mercado es considerado nuevo y atractivo por la incorporación de variedad de las flores y follaje tropicales, porque aportan un toque exótico a los arreglos florales. Otra ventaja que presentan, es su longevidad expresada en la calidad visual en comparación con otros tipos de inflorescencias, como las rosas y orquídeas, ya que después de la cosecha; las flores tropicales conservan su calidad durante aproximadamente 15 d en el florero, cuando están hidratadas adecuada y permanente, aunque la duración varía entre especies (Jaroenkit y Paull, 2003).

Entre las especies con demanda y aceptación creciente están las singulares *Heliconias* también conocidas como “platanillos”. El género *Heliconia* cuenta con aproximadamente 220 especies y es el único dentro de la familia *Heliconiaceae*, del orden de los *Zingiberales*. Dentro de este grupo, *H. psittacorum* L. f. es considerada como una de las especies con potencial ornamental mayor por su belleza y vida de florero prolongada, razón por la cual es aceptada ampliamente por los consumidores.

## **2.2 Descripción botánica de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica**

*H. psittacorum* es originaria de Sur América, muestra hábito de crecimiento musoide, su altura puede alcanzar los 2 m. Presenta un peciolo de 11 a 32 cm de largo, lámina de 37 a 60 cm de largo. Las inflorescencias (Figura 1) son terminales y erectas, con longitud entre 8 a 18 cm. El raquis es flexuoso, glabro a glauco y generalmente con coloración anaranjada. Las espatas dísticas van en número de 3 a 7 por inflorescencia, con tonalidades que van del rojo al anaranjado, por lo común glaucas. Las flores verdaderas son anaranjadas, rojas o amarillas con ápices verde oscuro, glabras y rectas a parabólicas. Presenta un fruto tipo drupa subglobosa color amarillo (Berry y Kress, 1991; Whistler, 2000).

Esta especie tiene importancia ornamental por sus características morfológicas (Figura 2.1); las inflorescencias, tienen tonalidades llamativas y sus brácteas en

un solo plano facilitan el embalaje, por lo que son ideales como flores de corte (Loges *et al.*, 2005). La producción es muy elevada y la floración puede mantenerse desde principios de primavera hasta mediados de otoño (Costa *et al.*, 2007).

Presentan variabilidad natural alta (Berry y Kress, 1991) de color, con tonalidades amarillas a rojas, estas características puede ser explotada favorablemente con fines de producción.



Figura 2. 1 Inflorescencia de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica (Bañuelos, 2011).

### **2.3 Manejo postcosecha de flores de corte**

Existen parámetros establecidos para la evaluación de la calidad de flores de corte en postcosecha; algunas son la longevidad, conservación de turgencia y coloración; sin embargo, estas características pueden afectarse por las condiciones ambientales de almacenamiento.

Los factores ambientales determinantes para el almacenamiento son: la temperatura, humedad relativa, luz, velocidad del aire y el etileno y  $\text{CO}_2$  liberado por los tejidos en almacenamiento. El uso de soluciones preservadoras y la calidad del agua afectan directamente la longevidad de las flores. El control de estos factores es determinante para alargar o disminuir la calidad de las flores de corte (Halevy y Mayak, 1979).

La luz influye directamente en la longevidad, ya que afecta los niveles de carbohidratos en las hojas; sin embargo, se ha demostrado que al enriquecer la atmósfera con  $\text{CO}_2$  se produce un aumento de la fotosíntesis, con lo que la longevidad disminuye (Holley y Goldsberry, 1961; Mattson y Widmer, 1971).

Al exponer los tallos florales a temperaturas mayores que  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , durante el manejo postcosecha, la longevidad disminuye, ya que los niveles de carbohidratos de los tallos se reducen (Moe, 1975).

Estudios realizados con tres cultivares de rosas en condiciones de postcosecha demostraron que los intervalos de temperatura entre los  $10$  y  $24\text{ }^\circ\text{C}$  mantuvieron la longevidad de los tallos; sin embargo, al sobrepasar los niveles de la temperatura, la longevidad decreció significativamente. Lo anterior se atribuyó principalmente al incremento en el nivel de compuestos fenólicos producidos por las hojas y los pétalos (Moe, 1975). El mismo autor realizó experimentos con temperaturas inferiores a los  $10\text{ }^\circ\text{C}$  y observó que disminuyeron la absorción de agua y la longevidad de rosas de corte, lo que indicó que las temperaturas postcosecha afectan directamente la longevidad por varias rutas metabólicas.

Las condiciones postcosecha de luz y temperatura también afectan la coloración y pigmentación de los pétalos florales, que es un parámetro de calidad en flores de corte. Halevy y Mayak (1974) demostraron que la exposición de rosa “Golden Wave” a menos de 15°C promueve el desarrollo de un tinte verdoso, debido a la conversión incompleta de cloroplastos a cromoplastos, y reducción considerable del contenido de antocianinas. Se ha sugerido que lo anterior se debe a los efectos ambientales, producidos por la disponibilidad de carbohidratos en las estructuras florales.

Otro factor importante es la hora de corte, ya que se ha demostrado que los tallos que son cortados durante la tarde presentan mayor tiempo de vida en florero que los cortados durante la mañana (Rogers, 1962). También la etapa fenológica en la que se realice el corte debe tomarse en cuenta. En general, es preferible cortar los tallos con botón floral, ya que se facilita el manejo y son menos susceptibles que la flor a la temperatura alta, acumulación de etileno y daño mecánico durante el manejo (Barden y Hanan, 1972; Nichols, 1973). Sin embargo, esto no es posible en tallos florales de especies tropicales como *Heliconia*, dado que una vez que se realiza la separación del tallo de la planta, la apertura de las brácteas florales queda inhabilitada y por tanto, realizar el corte en etapas tempranas no es conveniente (Costa *et al.*, 2011a).

#### **2.4 Manejo postcosecha de tallos florales de *Heliconia* ssp.**

Existen pocos reportes especializados en técnicas de manejo postcosecha específicos para especies de *Heliconia*, de ahí la importancia de realizar más estudios que aporten información al respecto. Reid (1991) propone la utilización de temperaturas bajas (no menores a 10 °C) para el almacenamiento de los tallos florales, ya que inhiben las infecciones bacterianas y fúngicas, reducen la transpiración y respiración, y retardan los procesos relacionados con el crecimiento y la senescencia. De esta forma, se reduce la tasa metabólica y el deterioro de los tejidos.

Son escasos los reportes que incluyen información del tiempo de exposición y los valores de temperatura necesarios para almacenamiento un óptimo de flores tropicales (Jaroenkit y Paull, 2003); generalmente, se recomienda usar temperaturas bajas, pero es importante no rebasar los niveles tolerables, ya que pueden acelerar el deterioro (Reid, 1991).

La temperatura durante la postcosecha es un factor determinante de la calidad de los tallos ornamentales. La pérdida de la calidad de las flores al momento de la comercialización es común, debido a la exposición a temperaturas inadecuadas. Para las flores de ambientes templados el intervalo óptimo de almacenamiento está entre 0 y 1 °C, para plantas con origen subtropical, el intervalo varía entre 4 y 7 °C, y las flores tropicales soportan temperaturas entre 7 y 15°. Debe considerarse, que existen variaciones en estos intervalos en dependencia de las especies, lo cual afecta directamente la calidad de las inflorescencias (Sonogo y Brackmann, 1995).

Existen estudios enfocados al almacenamiento de flores en temperaturas bajas. En algunos de ellos se han detectado daños por frío en las inflorescencias, aunque el grado de sensibilidad depende de cada especie (Kays, 1991; Chitarra y Chitarra, 2005; Costa *et al.*, 2011b).

La exposición a temperaturas extremadamente bajas (por debajo del punto de congelamiento) puede provocar lesiones por congelamiento, debido a los cristales de hielo que se van formando gradualmente en los tejidos (Skog, 1998).

Existen diferencias en las temperaturas propuestas para el almacenamiento óptimo de especies tropicales; Nowak y Rudnicki (1990) proponen un rango que va de los 7°C hasta los 15°C, mientras que Reid (1991) propone temperaturas de 10°C para el almacenamiento de *Strelitzia reginae* Banks ex Aiton, con las que se obtiene un promedio de vida en florero de 8.3 días (Finger, 2003).

Estudios realizados con diferentes especies de *Heliconia* demostraron que una temperatura superior a 10°C es recomendable para estas especies (Broschat y

Donselman, 1983). Investigaciones realizadas por Cavalcante *et al.* (2005) mostraron que las inflorescencias de *H. chartaceae* “Sexy Scarlet” almacenadas a 15°C permanecieron 13 d sin lesiones por frío durante su almacenamiento.

Los tallos florales de *H. psittacorum* cv. “Sassy” fueron conservados a 12°C sin presentar daño por frío por 12 días, mientras que aquellos que fueron expuestos a 8 y 10°C durante 12 días, presentaron oscurecimiento de brácteas y estructuras florales, abscisión floral y pérdida de turgencia (Mattiuz, 2005). En otro estudio realizado en tallos de *Zingiber spectabilis*, aquellos almacenados a 18°C presentaron mejor resultado que los almacenados a 10 y 13 °C (Días y Castro, 2005).

Costa *et al.* (2011b) evaluaron temperaturas (12 y 19 °C) y H.R. (85 y 66 %) para almacenamiento de inflorescencias de *H. bihai* (L.) cv. Lobster Claw y Halloween. Los resultados mejores se obtuvieron a 19 °C y 66 % H.R. A la fecha, parece que no existe algún estudio de este tipo para *H. psittacorum* L. f. cv. “Tropica”, por lo que es necesario realizar evaluaciones que proporcionen información útil sobre las condiciones óptimas de almacenaje que puedan ser aplicables por los productores de esta especie.

Es escasa la información bibliográfica de la combinación de factores ambientales como la temperatura, H.R. y luz favorables que permita alargar o mantener la longevidad de tallos en ornamentales tropicales, específicamente en heliconias por lo que es necesario generar información útil al respecto.

## **2.5 Estrés fisiológico por condiciones de almacenamiento**

Los daños por frío, comienzan por una serie de respuestas fisiológicas de los tallos florales que se encuentran en temperaturas subóptimas, y resultan en la interrupción del flujo protoplasmático, seguido por la reducción de la actividad fotosintética y por último la pérdida de la permeabilidad de las membranas, la

fragmentación celular y pérdida de los fluidos contenidos en los espacios celulares (Paiva y Olivera, 2006).

Otros síntomas de estrés incluyen pérdida de la coloración de pétalos, sépalos, brácteas y hojas, así como pérdida acelerada de agua de los tejidos, lesiones necróticas, extravasación celular, aumento de la susceptibilidad al ataque de saprófitos y patógenos, entre otros (Nowak y Rudnicki, 1990; Reid, 1991; Finger, 2003). Existen estudios que indican que la temperatura de almacenamiento y reservas de azúcares son los principales factores que afectan la acumulación de antocianinas, pigmentos que proporcionan el color característico de las especies de *Heliconia*. (Maekawua, 1977; Shvarts *et al.*, 1997; Dela *et al.*, 2003; Smeekens, 2000; Nozaki *et al.*, 2006;).

Otras reacciones se localizan en la membrana celular mediante varias respuestas secundarias, como la producción de etileno, aumento de la respiración, pérdida de la integridad de las membranas, liberación de iones y metabolitos, alteraciones de las actividades enzimáticas, disminución de la fotosíntesis, acumulación de componentes tóxicos, así como la alteración de la estructura celular (Kays, 1991; Skog, 1998; Larcher, 2006, Candan *et al.*, 2008).

Por otro lado, la acción de las peroxidasas en las plantas, constituye una protección antioxidante, dado que la prevención de los daños oxidativos se encuentran entre los denominadores comunes de reacción a condiciones de estrés; por lo tanto, estas enzimas puede ser utilizadas como marcadores bioquímicos de reacción a factores bióticos y abióticos (Lima, 1999).

### **2.5.1 Efectos de temperatura, humedad relativa y luz en las flores de corte**

La luz es un factor relevante en los procesos metabólicos de las plantas, *in vivo* o en postcosecha. La luz es la energía que ocupa la planta para sintetizar azúcares, a través del proceso de fotosíntesis. También se encuentra involucrada en el control de la formación del aparato fotosintético y la elongación del tallo en el campo de cultivo.

Durante el almacenamiento la intensidad de la luz puede afectar, dado que hay especies muy sensibles al fotoperiodo, cantidad y calidad del flujo fotónico. En ausencia de luz, las reacciones fotosintéticas son detenidas, lo que causa desequilibrio en los tejidos, conduce a procesos catabólicos y por ende a la senescencia (Moe *et al.*, 2006).

Ha existido la idea que la oscuridad retrasa el proceso senescente; sin embargo, existen informes que evidencian que los azúcares podrían acelerar la pérdida de clorofila de las hojas aun en oscuridad (Goldthwaite, 1967). La senescencia provocada por oscuridad se diferencia de la natural, porque ocurre en la planta en función y acorde con su ciclo de vida sin existir intervención de agentes externos, que generan estrés (Hunter, 2004). En cambio, en postcosecha los tallos florales puede estar en condiciones de obscuridad, luz y una combinación de estos factores provoca cambios ultraestructurales a nivel celular (Nooden, 1988; Weaver *et al.*, 1998); el efecto de estos factores puede ser mayor que la senescencia natural. Esto depende de la sensibilidad de las especie; lo que muestra la importancia de realizar estudios para las flores de interés.

Se ha sugerido que el consumo y agotamiento de los recursos almacenados por la planta ya sea en la oscuridad o con niveles de luz por debajo del punto de compensación pueden acelerar la senescencia (Mae *et al.*, 1993). A su vez, la luz puede actuar positiva o negativamente en los niveles de hormonas, que influyen en el proceso senescente, por ejemplo en la producción de citoquininas (Chory y Li, 1997).

Estudios referentes al tema se han realizado principalmente en condiciones naturales o de invernadero. Moe *et al.* (2006) evaluaron dos niveles de flujo de fotones fotosintéticos (PPF) correspondientes a 73 y 146  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , en los fotoperiodos: 10, 13, 16 y 24 h en *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. Observaron abscisión y decoloración mayor en fotoperiodos menores a las 13 h bajo un PPF de 73  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; lo que sugirió que la falta de luz provoca efectos negativos en las inflorescencias (Moe *et al.*, 2006).

Resultados similares fueron reportados por Mortensen en 1998, quien evaluó el efecto de la H.R., con el tipo y duración de flujo lumínico en *Rosa* spp. cv. Sounvenir. Durante el estudio se utilizó un PPF de  $170 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , así como períodos de luz de 16, 20 y 24 h y H.R. de 90 y 65 %. Los análisis fueron hechos durante la etapa de crecimiento del cultivar dentro de un invernadero.

Los resultados concuerdan con los obtenidos por Moe *et al.* (2006); evidenciando que las rosas mantenidas en fotoperiodo superior a las 16 h aumentaron su vida en florero, en contraste con aquellas que tuvieron un fotoperiodo menor; traduciéndose en pérdida mayor de peso, pigmentación y deshidratación.

Se ha propuesto que luz artificial (PPF) de entre  $150$  y  $200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  son adecuados para promover el crecimiento adecuado para *Rosa* sp. en condiciones de invernadero (Mortensen, 1998).

En estudios realizados con 14 cultivares de *Rosa* sp. se evaluó el fotoperiodo, H.R. y relaciones hídricas durante el crecimiento y vida en florero con PPF de  $200 \pm 20 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Los resultados apoyaron la idea de que no se deben combinar H.R. alta con una iluminación continua en cultivos de rosas en invernadero; ya que, la calidad y vida en florero de esta especie disminuyen de 8 a 13 y 2 a 5 d con el aumento de H.R., mientras que el aumento del período de iluminación de 16 a  $24 \text{ h}^{-1} \text{ día}^{-1}$  aunado a 65 % H.R., la vida en florero disminuyó de 8 a 13 d (Mortensen, 1998).

Para el caso específico de las especies de *Heliconia* no existe información sobre los efectos de PPF durante su manejo postcosecha, ya sea en almacén o en florero. Costa *et al.*, (2011b) evaluó los tallos florales de *H. bihai* L. cv. Lobster Claw y Halloween almacenados a temperaturas bajas para detectar daño por frío; las condiciones fueron,  $12 \text{ °C}$  con 98 % H.R.,  $19 \text{ °C}$  con 99 % H.R. y  $25 \text{ °C}$  y 77 % H.R. (grupo control) y un PPF de 133.9 luxes en las tres condiciones. Los resultados con este PPF demostraron daño por frío en los tallos almacenados a  $12 \text{ °C}$  por períodos mayores a 4 d. Es evidente que los estudios de los efectos de los diferentes niveles del flujo de fotones durante la etapa de almacenamiento de las

diferentes flores de corte, son escasos, particularmente en especies de *Heliconia*. Por esta razón, se ha propuesto evaluar diferentes niveles de intensidad de luz en combinación con temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento de tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica.

## **2.6 Vida en florero**

En ornamentales, la vida en florero es uno de los las características más importantes que determinan su calidad y su capacidad para satisfacer las preferencias del consumidor, estimulando capacidad de adquisición (Onozaki, 2011).

La vida en florero puede estar influenciada y limitada por factores extrínsecos a la flor como la acumulación de bacterias en las soluciones hidratantes o bien, del mismo tallo causando marchitamiento y deshidratación (Halevy y Mayak, 1981). Además, parte de la vida en florero depende de las reservas de azúcares con la que cuente la flor al momento de ser cortada, puesto que una vez que ésta ha sido cortada, las ganancias netas de carbono serán reducidas debido al catabolismo del proceso fotosintético (Halevy y Mayak, 1979).

En cultivares ordinarios de claveles, el promedio de vida de florero es de 5 a 7 días, esto sin adicionar ninguna solución preservadora (Onozaki, 2011). En *Rosa* sp. se ha reportado que la reducida vida de florero está asociada con altas tasas de respiración (Reid, 2003).

Existen contradicciones en el tiempo de duración de la vida de florero, pues cada investigador define el inicio y final de esta etapa; además, se deben considerar características de especie de interés. Cada especie tiene un conjunto de síntomas que limitan la duración de vida en florero, y estos pueden ser diferentes de los síntomas de senescencia de tallos florales (Wouter y Tijsskens, 1991).

Faragher *et al.* (1984) propusieron que la vida de florero para rosas del cultivar “Mercedes” debe terminar cuando el primer pétalo presente marchitamiento; mientras que, Mortensen (1998) consideró terminada la vida de florero en *Rosa* sp. cuando pierde sus características decorativas. El criterio es diferente para *Chrysanthemum* sp., Petridou (2001) considera que el fin de la vida de florero debe estar en función de la marchitez y amarillamiento de las hojas. En el caso de inflorescencias, los parámetros son distintos, Elgar *et al.*, (2002), consideran que el tiempo de vida de florero para *Leucoryne* sp. finaliza cuando el 50% de las inflorescencias presenten signos de marchitez.

Una de las líneas de investigación prioritarias en la floricultura, se ha enfocado a la implementación de técnicas que permitan alargar la vida postcosecha de las flores de corte con potencial económico. La vida de florero puede extenderse por la adición de compuestos hidratantes, soluciones pulso y desinfectantes o bien, mediante la inactivación de las rutas fisiológicas envueltas en procesos de deterioro como la senescencia, paralelamente, la vida postcosecha depende en gran medida de las labores precosecha aplicadas y el tercer factor determinante de la longevidad de las flores está determinado por la genética de la especie (Da-Wen y Brosnan, 1999). Una de las técnicas postcosecha con mayor éxito para preservar la calidad de las inflorescencias, es el manejo a bajas temperaturas, tanto para el almacenaje como para el transporte.

## **2.7 Senescencia**

La muerte de grupos específicos de células es una parte esencial del crecimiento y desarrollo de las plantas superiores. La senescencia es el último paso del desarrollo de todos los órganos de una planta, incluyendo hojas, tallos, raíces, flores y frutos; es un tipo de muerte celular programada, se define como la muerte relativamente lenta de los tejidos al final de su ciclo de vida (Halevy y Mayak, 1979).

La senescencia es un proceso altamente regulado, durante el cual se activan algunas vías metabólicas, a la vez que otras dejan de funcionar. La senescencia comienza con una fase de iniciación, la cual involucra la activación e inactivación de varios genes. Esta fase inicial es inducida por una cascada de transducción de señales vinculada a varios estímulos, como señales hormonales y ambientales, o en respuesta al ataque de patógenos.

También involucra una alteración del estado redox de los tejidos. Posteriormente comienza una fase de reorganización, en la que se presenta una rediferenciación controlada de las estructuras celulares y se activan vías de recuperación de materiales. Ocurre un cambio de metabolismo autótrofo a uno heterótrofo, detoxificación de tejidos y rediferenciación reversible de organelos.

Finalmente, una fase terminal provoca los síntomas más comunes de la muerte celular, tales como liberación de radicales libres, eliminación de metabolitos y pérdida irreversible de la integridad y viabilidad celular. La integridad de las membranas subcelulares y la compartimentación de las vías bioquímicas se conservan hasta la fase terminal (Buchanan, *et al.*, 2000).

Las flores son altamente perecedoras, mantienen la respiración aún después de la cosecha; así, el inicio y desarrollo de la senescencia depende en muchos casos del etileno, compuesto que acelera la senescencia (Mayak y Halevy, 1980; Halevy, 1981; Quesada y Valpuesta, 2000). Otro aspecto importante en el deterioro involucra la disminución de sustratos respiratorios y la rapidez con que esto ocurre. Es en parte dependiente de la cantidad de reservas (proteínas, lípidos, carbohidratos) presentes en la flor al momento de ser cortada (Rogers, 1962). La senescencia de las flores cortadas está estrechamente relacionada con la reducción de la energía necesaria para las reacciones de fotosíntesis, transpiración y respiración.

Estudios realizados en flores de corte, han demostrado que el etileno, es responsable en parte de la senescencia. Se trata de una hormona vegetal gaseosa producida por todos los órganos de la planta. Esta hormona es

sintetizada por las flores en su proceso de maduración. Maxie *et al.*, (1973) señalaron que las flores de corte presentan una curva de producción de etileno, en la cual se distinguen tres fases: primero ocurre una baja y constante tasa de producción, posteriormente se presenta un acelerado aumento hasta llegar al máximo de producción y por último ocurre la declinación de etileno. Al finalizar la segunda etapa ocurren los síntomas de daño por etileno y por ende comienza la senescencia de la flor.

En las Heliconias, los síntomas de senescencia ocurren a velocidades distintas dependiendo de cada especie, una vez que las inflorescencias han sido cortadas, las brácteas no continúan abriendo y su absorción de agua es muy baja (Cid, 1998). Los síntomas de senescencia consisten en necrosis y/o abscisión del periantio de las flores verdaderas y posterior ennegrecimiento de las brácteas cincinales (Figura 2.2).



Figura 2. 2. Inflorescencia de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica con los primeros síntomas de senescencia (Bañuelos, 2011)

Dentro de flores de corte tropicales, en ocasiones puede observarse amarillamiento y desecación de las hojas (Cid, 1998). En estas especies, como en la mayoría de flores de corte, la calidad se encuentra en función de la resistencia al marchitamiento y duración de días en vida en florero de los tallos, por lo tanto, el manejo postcosecha que se aplique a las inflorescencias debe ser el adecuado para alargar la vida en florero y mantener con estola calidad de las mismas; por ejemplo, se debe evitar la exposición de los tallos a temperaturas superiores a los 25 °C y no inferiores a los 10 °C. Así mismo, la humedad relativa debe ser controlada en un rango que no disminuya de 60 %. Otro aspecto importante es colocarlas en contacto con agua lo más pronto posible una vez realizado el corte (Nowak y Rudnicki, 1990).

La durabilidad postcosecha de especies de heliconias se encuentra relacionada con factores genéticos (Criley, 1992); sin embargo, se ha demostrado que las técnicas pre y postcosecha interfieren en la calidad y durabilidad de las inflorescencias. De acuerdo con Nowak y Rudnicki (1990), la permanencia de flores de corte a temperaturas más elevadas que las de su ambiente natural, acelera el proceso de senescencia, por lo que las recomendaciones indican que deben ser colocadas en ambientes con bajas temperaturas para reducir la velocidad de las reacciones metabólicas de los tallos y por tanto, aumentar la vida en florero por un mayor período que, finalmente, es lo que buscan los consumidores.

## 2.9 LITERATURA CITADA

- Barden, L.E.; Hanan J.J. 1972. Effect of ethylene on carnation keeping life. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 97:785-788.
- Berry, F.; W. Kress. 1991. *Heliconia: an identification guide*. Smithsonian Institution. Washington. 337 p.
- Broschat, T.K.; Donselman H. M.. 1983. Heliconias: a promising new cut flower crop. *HortScience* 18:1-2.
- Buchanan, B.; Gruissem, W.; Jones, R. 2000. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists. EEUU. 1368 pp.
- Candan, A.P.; Graell, J.; Larrigaudière, C. 2008. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. *Postharvest Biology and Technology* 47:107-112.
- Cavalcante, R.A.; Mosca, J.L.; Maciel, V.T.; Paiva, W.O. 2005. Armazenamento refrigerado de *Heliconia chartaceae* Lane ex Barreiros cv. Sexy Scarlet colidas em diferentes pontos de abertura. *Horticultura Brasileira* 23: 563-565.
- Chattopadhyay, S.K. 2007. *Commercial floriculture*. Gene-Tech Books. Nueva Delhi. 293 p.
- Chitarra, M.F; Chitarra, A.B. 2005. Pós-colheita de frutas e hortaliças fisiologia e manuseio. Lavras. 785 p.
- Chory, J.; Li, J. 1997. Gibberellins, brassinosteroids and light-regulated development. *Plant Cell and Environment* 20:801-806.
- Cid, B.M. 1998. Introducción de nuevas Heliconias para flor cortada: Evaluación de su potencial y desarrollo de técnicas de cultivo sin suelo. Proyecto N°: RTA02-098. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.
- Costa, A.S.; Nogueira, L.C.; Dos Santos, V.F.; Finger, F.L.; Camara, T.R.; Loges, V.; Willadino, L. 2011a. Storage of cut *Heliconia bihai* (L.) cv. Lobster Claw

- flowers at low temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(9):966-972.
- Costa, A.S.; Nogueira, L.C.; Dos Santos, V.F.; Finger, F.L.; Camara, T.R.; Loges, V.; Willadino, L. 2011b. Characterization of symptoms of senescence and chilling injury on inflorescences of *Heliconia bihai* (L.) cv. Lobster Claw and cv. Halloween. *Postharvest Biology and Technology* 59:103-109.
- Costa, A.S.; Loges V.; Castro, A.C.; Bezerra, G.J.; Santos, V.F. 2007. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de cultivares e híbridos de *Heliconia psittacorum*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 2: 187-192.
- Criley, R.A.; Broschat, T. K. 1992. *Heliconia*: botany and horticulture of new floral crop. *Horticultural Reviews* 14:1-55.
- Da-Wen, S.; Brosnan, T. 1999. Extension of vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. *International Journal of Refrigeration* 22:472-478.
- Dela, G.; Or, E.; Ovadia, R.; Nissim-Levi, A.; Weiss, D.; Oren-Shamir, M. 2003. Changes in anthocyanin concentration and composition in “Jaguar” rose flowers due to transient high-temperature conditions. *Plant Science* 164:333-340.
- Devia, W. 1995. *Heliconias del Valle del Cauca*. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas. Cali, Colombia. 129 p.
- Díaz, M.J. 2006. Diagnóstico de la cadena productiva de heliconias y follajes en los departamentos del eje cafetalero y Valle de Cauca (Colombia). Biotrade initiative. Naciones Unidas.
- Días, T.G.; Castro, C.E.. 2005. Manutenção da qualidade pós-colheita de *Zingiber spectabilis* Griii. *Horticultura Brasileira* 23: 563-564.
- Elgar H., J.; Fulton T., A.; Walton E., F. 2002. Effect of harvest stage, storage and ethylene on the vase life of *Leucocoryne*. *Postharvest Biology and Technology* 27:213-217.

- Faragher, J.D.; Mayak, S.; Halevy, A.H. 1984. Cold storage of rose flowers: effects of cold storage and water loss on opening and vase life of "Mercedes" roses. *Scientia Horticulturae* 24:369-378.
- Finger, F.L. 2003. Vase life of Bird-of-Paradise flowers influenced by pulsing and term of cold storage. *Acta Horticulturae* 628:863-867.
- Goldthwaite, J.J.; Laetsch, W.M. 1967. Regulation of senescence in bean leaf disks by light and chemical growth regulators. *Plant Physiology* 42:1757-1762.
- Holley, W.D.; Goldsberry, K.L. 1961. Carbon dioxide increases growth of greenhouse roses. *Colorado Flower Growers 'Association Bull* 139:1.
- Halevy, A.H.; Mayak, S. 1974. Transport and conditioning of cut flowers. *Acta Horticulturae* 43:291-306.
- Halevy, A.H.; Mayak, S. 1979. Senescence and postharvest physiology of cut flowers, Part 1. *Horticultural Reviews* 1:204-236.
- Halevy, A.H.; Mayak, S. 1981. Senescence and postharvest physiology of cut flowers, Part 2. *Horticultural Reviews* 3:59-143.
- Hunter, D.A.; Nathan, E.; Reid, M. 2004. Physiology of flower senescence. *Plant Cell Death Processes*. Larry Nooden. USA. 392 p.
- Jaroenkit, T.; Paul, R.E. 2003. Reviews postharvest handling of heliconia, red ginger, and bird-of-paradise. *HortTechnology* 13:259-266.
- Jerez, E. 2007. El cultivo de las heliconias. *Cultivos Tropicales*. 28:29-35.
- Kays, S.J. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. AVI Book, Van Nostrand Reinhold. New York, USA. 532 p.
- Kress, W.J.; Betancur, J.; Echeverry, B. 2004. Heliconias: llamaradas de la selva colombiana. Ed. Cristina Uribe. Bogotá, Colombia. 200 p.
- Larcher, W. 2006. *Ecofisiología vegetal*. Edit. Rima. São Carlos, Br. 550 p.
- Lima, G.P.; Brasil, O.G.; Oliveira, A.M. 1999. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*phaseolus vulgaris* L.), cultivado sob estresse salino. *Scientia Agrícola* 56:21-25.

- Loges V.; Teixeira, M.C.; Castro, A.C.; Costa, A.S. 2005. Colheita e pós-colheita de flores tropicais no estado de Pernambuco. *Revista de Horticultura Brasileira* 23: 699-672.
- Mae. T.; Thomas, H.; Gay, A.P; Makino, A.; Hidema, J. 1993. Leaf development in *Lolium temulentum*: photosynthesis and photosynthetic proteins in leaves senescing under different irradiances. *Plant and Cell Physiology* 34: 391-399.
- Maekawua, S.; Nakamura, N. 1977. Studies on the coloration of Carnation flowers VII. The effects of temperature on the coloration and pigmentation for the intact flower and plant growth. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 45:375-382.
- Mattiuz, C.F. 2005. Efeito do armazenamento refrigerado em inflorescencias cortadas de *Heliconia psittacorum* "Sassy". *Horticultura Brasileira* 23: 562-563.
- Mattson, R.H.; Widmer, R.E. 1971. Effects of carbon dioxide during growth on vase life of greenhouse roses (*Rosa hybrida*). *Journal of the American Society for Horticultural Science* 96:284.
- Maxie, E.D.; Farnham, F.; Mitchell, N.; Sommer, R.; Parsons, R.; Snyder; Rae, H. 1973. Temperature and ethylene effects of cut flowers of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) *Journal of the American Society for Horticultural Science* 98: 568-572.
- Mayak, S.; Halevy, H. 1980. Flower senescence p.131-156. *In*: Thiman, K.V. (ed.) *Senescence in Plants*, CRC, Boca Raton, Florida, USA.
- Mayak, S.; Vaadia, Y.; Dilley, R. 1977. Regulation of senescence in Carnation (*Dianthus caryophyllus*) effect of abscisic acid and carbon dioxide on ethylene production. *Plant Physiology* 59(1):591-593.
- Moe, R. 1975. The effect of growing temperature on keeping quality of cut roses. *Acta Horticulturae* 41:77-88.

- Moe, R.; Floistand, E.; Dag B. 2006. Impact of Light on Cyathia Abscission and Bract Discoloration in Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). *Acta Horticulturae* 711:285-290.
- Mortensen, L.M.; Fjeld T. 1998. Effects of air humidity, lighting period and lamp type on growth and vase life of roses. *Scientia Horticulturae* 73:229-237.
- Nichols, R. 1973. Senescence of the cut carnation flower: respiration and sugar status. *Journal of Horticultural Science* 48:111-121.
- Nooden, L.D. 1988. Whole plant senescence. *In* *Senescence and Aging in Plants*. Academic Press, San Diego, CA. ISBN 0-12-520920-7. pp.391–439.
- Nozaki, K.; Takamura, T.; Fukai, S. 2006. Effects of high temperature on flower color and anthocyanin content in pink flower genotypes of greenhouse chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 81:728-734.
- Nowak, J.; Rudnicki, R. M. 1990. Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens and potted plant. Timber Press, 210 p.
- Onozaki, T.; Yagi, M.; Tanase, K.; Shibata, M. 2011. Crossings and selections for six generations based on flower vase life to create lines with ethylene resistance or ultra-long vase life in carnations (*Dianthus caryophyllus* L.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 80(4):486-498.
- Paiva, R.; Oliveira, L.M.. 2006. Fisiologie e produção vegetal. Lavras:UFLA. 104 p.
- Petridou, M.; Voyiatzi, C.; Voyiatzis, D. 2001. Methanol, ethanol and other compounds retard leaf senescence and improve the base life and quality of cut chysanthemum flowers. *Portharvest Biology and Technology* 23:79-83.
- Quesada, M.A.; Valpuesta, V. 2000. Juvenilidat, senescencia y abscisión. p.451-464. *In*: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw Hill. Madrid, España.
- Reid, M.S. 1991. Effects of low temperatures on ornamental plants. *Acta Horticulturae* 298:215-223.

- Reid, M.S. 2003. Postharvest physiology/effects of temperature. *In*: Roberts, A.V. Debener, T., Gudín, S. (Eds.), *Encyclopedia of Rose Science*. Elsevier Ltd. Oxford, pp. 554-556.
- Rogers, M.N. 1962. Sell flowers that last. (Reprints of 9 papers) *The Florida Review* 130-131 p.
- Secretaría de Economía. 2007. Disponible en <http://www.economia.gob.mx/swb/swb/>
- Shvarts, M.; Weiss, D.; Borochoy, A. 1997. Temperature effects on grown, pigmentation and post-harvest longevity of petunia flowers. *Scientia Horticulturae* 69:217-227.
- Skog, L.J. 1998. Chilling injury of horticultural crops. Horticultural Research Institute of Ontario. University of Guelph Factsheet.
- Smeekens, S., 2000. Sugar-induced signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51:49-81.
- Sonego, G.; Brackmann, A. 1995. Conservação pós-colheita de flores. *Ciencia Rural* 25:473-479.
- Sosa, R.F. 2004. Propagación *in vitro* de *Heliconia standleyi* Macbride. Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". Cienfuegos, Cuba. 79 p.
- Weaver, M.; Gan, S.; Quirino, B.; Amasino, R.M. 1998. A comparison of the expression patterns of several senescence-associated genes in response to stress and hormone treatment. *Plant Molecular Biology* 37:455-469.
- Whistler, W. 2000. *Tropical ornamentals, a guide*. Ed. Timber Press, Inc. Portland, Oregon, USA. 542 p.
- Wouter, D.; Tijssens, L. 1991. Flores: a model on the keeping quality of cut flowers. *Agricultural Systems* 35:111-127.

### **CAPÍTULO III. EFECTO DE LA TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y LUZ EN TALLOS FLORALES DE *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica DURANTE EL ALMACENAMIENTO**

#### **3.1 RESUMEN**

*Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica es una de las especies con aceptación mayor del grupo de especies tropicales; sin embargo, su comercialización está restringida por el desconocimiento de las condiciones adecuadas para su almacenaje. Este estudio tuvo como objetivo identificar la temperatura, H.R. y condición de iluminación mejores para el almacenamiento con la premisa de que la combinación adecuada de estos factores permitirá mantener la calidad de los tallos florales. Se utilizaron tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica, de una plantación comercial en Campo Chico; Iztaczoquitlán, Ver., fueron colocados 10 días en cámaras con ambiente controlado. Se establecieron siete tratamientos variando la temperatura (12 a 26°C), H.R. (37 a 90 %) y luz (0 a 150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y se cuantificó la pérdida de biomasa fresca, el cambio de coloración en las brácteas florales, el contenido de clorofila, la transpiración, el contenido relativo de agua de la base del escapo y del área de fusión del escapo con la inflorescencia, el índice de daño en membranas celulares y la actividad de las peroxidasas, como indicador de estrés. Se utilizó un diseño experimental en medidas repetidas para las variables no destructivas y un diseño completamente al azar para las variables destructivas, donde cada tallo floral fue considerado como una unidad experimental y cada tratamiento estuvo formado por tres repeticiones. El análisis de los resultados incluyó pruebas de comparación de medias de Tukey y *t* con  $\alpha=0.05$ . La combinación de condiciones correspondiente a 15 °C-63 %-H.R. 0 %  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  y 12 °C-H.R. 90 %-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  presentaron diferencias significativas en la preservación de calidad en los tallos florales. La clorofila no mostró diferencias entre los tratamientos. Esos dos tratamientos mantuvieron los tallos florales con niveles altos de calidad después 10 d de almacenamiento.

Palabras clave: Almacenamiento, *Heliconia psittacorum* L. f., humedad relativa, luz, temperatura

## EFFECT OF TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY AND LIGHT ON THE STORAGE OF FLOWERING STEMS OF *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

### ABSTRACT

*Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica is one of the species with major acceptance of the group of tropical species; however, marketing is restricted by the lack of appropriate conditions for storage. This study aimed to identify the best temperature, relative humidity and light for storage, with the premise that the right combination of these factors will maintain the quality of the flowering stems. Flowering stems tested were obtained from a commercial plantation in Campo Chico, Iztaczoquitlán, Veracruz, were placed 10 days in controlled environment chambers. Seven treatments were established by varying the temperature (12 to 26°C), relative humidity (37 to 90%) and light (0 to 150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). It was quantified, the loss of fresh biomass, changes in color of the floral bracts, the chlorophyll content, the transpiration, the relative water content of the base of the scape and fusion area of the scape with inflorescence, the rate of damage to cell membranes and peroxidase activity as an indicator of stress. We used a repeated measures experimental design for nondestructive variables and a completely randomized design for destructive variables, where each flower stem was considered an experimental unit and each treatment consisted of three replicates. The analysis of the results included mean comparison test of Tukey and  $t$  with  $\alpha = 0.05$ . The combination of conditions corresponding to 15°C - RH. 63% - 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  and 12°C - 90% R.H. - 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  presented significant differences in the preservation of quality on the stems. The chlorophyll showed no differences between treatments. Both of these treatments maintained flowering stems with high quality after 10 d of storage.

Keywords: *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica, light, relative humidity, storage, temperature

### 3.2 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemoriales, las flores han tenido un rol preponderante en la cultura mexicana, como elementos ceremoniales, religiosos, sociales, culturales, o como parte del paisaje circundante, por sus características ornamentales.

Recientemente el sector florícola ha tenido un crecimiento importante, por lo que algunos países han encontrado en este sector una oportunidad de crecimiento económico, como Holanda, Colombia, Israel y Kenia, y actualmente son los principales países exportadores de flor de corte y de maceta (ONU, 2011).

Aunque en México, el desarrollo de este mercado ha tenido crecimiento positivo, no es comparable con las potencias en el sector, por diversas causas, como la calidad baja del producto, uso ilegal de variedades patentadas, desorganización entre productores, recursos mal utilizados, falta de conocimientos y tecnologías adecuadas para el manejo en postcosecha y la innovación limitada de mercancía.

Respecto a la introducción de nuevas especies o variedades, una de las alternativas propuestas es la comercialización de flores de ambientes tropicales, especialmente de las especies de *Heliconia*. El éxito de estos productos radica en sus formas exóticas, colores llamativos y vida prolongada en florero; sin embargo, uno de los problemas principales para la comercialización es el manejo deficiente en la postcosecha de las inflorescencias debido a la falta de estudios referentes al tema.

Según estadísticas realizadas en 2010 por la empresa Flora Holland ([www.floraholland.com](http://www.floraholland.com)), las pérdidas durante el proceso de comercialización mundial representaron 20 % y las ocasionadas en la etapa de almacenamientos 7 %. Al relacionar estos datos con las cifras del valor aproximado del sector, se muestra que las pérdidas por manejo inadecuado son considerables.

Uno de los aspectos más importantes para un manejo adecuado en postcosecha, es el uso apropiado de la temperatura y su combinación con la H.R; a la vez, la luz

puede tener efectos importantes en algunas especies. Por esto, se deben realizar estudios puntuales con cada especie o variedad de interés. El uso de temperaturas bajas durante el almacenamiento de especies con origen tropical es inapropiado, debido a que causan daño por frío, en contraste, el uso de temperaturas altas acelera el proceso de senescencia (Costa *et al.*, 2011a) y decremento precoz de la calidad.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura, luz y H.R. en los cambios fisiológicos de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante el almacenamiento. La hipótesis fue que existe una combinación adecuada de factores ambientales, *i.e.* temperatura, luz y H.R. que permite conservar la calidad de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica, ya que al disminuir su deterioro alarga la vida en florero.

### 3.5 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Postgrado en Botánica del CP, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, durante mayo y junio de 2011. Los tallos se almacenaron en cámaras con ambiente controlado (Sherer® modelos CEL 511-38 y CEL 37-14, Gillett, Marshall, Mich. USA)

Se utilizaron tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica que presentaban las características óptimas para la comercialización, de acuerdo con el productor (Sr. Tayde Gutiérrez), obtenidos de una plantación comercial localizada en Campo Chico, Ixtaczoquitlan, Ver., ( $18^{\circ}52'18.90''$  LN y  $97^{\circ}01'34.84''$  LO, altitud de 998 m) (Figura 3.1).



Figura 3. 1. Localización de Campo Chico, Ixtaczoquitlán, Veracruz. Imagen obtenida a través del software Google Earth®; disponible en <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>.

La plantación fue establecida en 2005 y cuenta con diversas especies ornamentales tropicales. El productor no aplica plaguicidas o fertilizantes químicos; utiliza material orgánico obtenido de la misma plantación para mejorar el suelo y realiza poda de hojas e inflorescencias para evitar crecimiento deficiente de inflorescencias y acumulación excesiva de humedad, que favorece el desarrollo de hongos y patógenos.

### 3.5.3 Corte y traslado de tallos florales

Se evaluaron tallos florales homogéneos en color y altura y sin daños aparentes, con tres a cinco brácteas florales abiertas. . El corte de los tallos se realizó antes de las 10 am con una navaja curva en dirección ascendente y ángulo de 45°. Cada tallo se mantuvo con tres hojas y se sumergieron en agua potable, para evitar su deshidratación y transportados (4 h) al Laboratorio de Biofísica y Fisiología Vegetal Ambiental del Colegio de Postgraduados.

### 3.5.4 Planeación experimental

#### 3.5.4.1. Tratamientos ensayados: temperatura, humedad relativa y luz

Con base en la literatura (Costa *et al.*, 2011a, b) se seleccionó para el estudio el intervalo entre 12 y 26 °C y H.R. entre 37 y 90 %. Para la intensidad luminosa, se fijaron niveles entre 0 y 150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Cuadro 3.1).

Cuadro 3. 1. Temperatura, H.R. y luz evaluadas para identificar la condición óptima de almacenamiento en postcosecha de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Temperatura (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
T1	18	80	82
T2	26	37	9
T3	14	70	0
T4	14	70	103
T5	15	63	0
T6	16	60	150
T7	12	90	26

### 3.5.4.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño con medidas repetidas completamente al azar (DMR) para analizar el efecto de los tratamientos en seis tiempos: inicial o día 0, y 2, 4, 6, 8 y 10 d. Además, se realizaron comparaciones a través del tiempo con la prueba de  $t$  con  $\alpha=0.05$  para los resultados sobresalientes. En este caso se analizó el efecto de los tratamientos, y las interacciones ocurridas en el tiempo inicial y final. En este diseño fueron incluidas las variables no destructivas, pérdida de biomasa, transpiración, clorofila, luminosidad, eje rojo-verde y amarillo-azul).

En caso de que todos los efectos factoriales resulten significativos ( $p \leq 0.05$ ), la interacción indicará que las diferencias entre tratamientos no fueron consistentes en el tiempo. Por tanto en dicho caso, sólo se analizó la interacción a través de comparaciones preestablecidas (día 0 y 10) entre las combinaciones de tratamientos que la conformaron (efectos simples).

Para las pruebas destructivas, contenido relativo de agua, clorofila a, b y total, actividad de peroxidasas y daño en membranas celulares, se estableció un diseño completamente al azar (DCA), para evaluar el efecto de los tratamientos durante los 10 d de almacenamiento. Los resultados se analizaron con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con  $\alpha=0.05$ .

Los resultados se analizaron para confirmar el cumplimiento de los supuestos del modelo lineal: normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de las observaciones, mediante gráficas de residuales y las pruebas de Anderson-Darling y Bartlett. Para las variables cuyos datos estuvieron expresados en porcentajes, se realizó la transformación arcoseno para cumplir con la condición de normalidad.

Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el paquete SAS<sup>®</sup>, versión 9.0 (2002),

En el laboratorio, los tallos fueron pesados y etiquetados, colocados individualmente en recipientes con 800 mL de agua desionizada y sin algún agente preservador. Se colocó la tapa a los recipientes, para disminuir la

evaporación del agua, con un orificio circular de 1 cm<sup>2</sup>, por el que pasaba el tallo con el objetivo de. Luego, los recipientes fueron colocados dentro de las cámaras con ambiente controlado en cada condición seleccionada y se mantuvieron así por 10 días. Cada tratamiento incluyó tres repeticiones y un tallo floral representó una unidad experimental.

### 3.5.5 Variables respuesta

Se evaluaron ocho variables respuesta (Cuadro 3.2).

Cuadro 3. 2. Variables respuesta, método y equipo utilizados.

Variable respuesta	Método y/o equipo usado
Biomasa	Balanza digital (Precisa® modelo XB 2200C)
Luminosidad (L*), eje rojo-verde (a*) y eje amarillo-azul (b*)	Cámara digital Sony Cyber-shot® de 6 mp, con lente de zoom óptico de 3x Carl Zeiss® y software desarrollado en MATLAB® Versión 7.10.0 bajo el principio CIE: L*, a* y b*
Clorofila	Medidor de clorofila (Minolta SPAD 502 plus ®)
Clorofila a, b y total	Método de Inskeep y Bloom (1985), a través de un espectrofotómetro (Spectronic2 1D, Milton Roy®)
Transpiración indirecta	Medición de volumen
Contenido relativo de agua	Método de Kramer (1974) y Chaman (2007), a través de una balanza digital (Precisa® modelo XB 2200C)
Daño y permeabilidad de membranas celulares	Método de Prášil y Zámeč (1998), a través de un conductímetro (Horiba B-173®).
Actividad de peroxidasas	Espectrofotómetro (Spectronic2 1D, Milton Roy®)

### **3.5.5.1 Pérdida de biomasa húmeda**

Se registró la biomasa húmeda de los tallos cada tercer día con una balanza digital (Precisa® modelo XB 2200C). El resultado fue expresado como porcentaje de biomasa perdida respecto a la inicial.

### **3.5.5.2 Cambios de coloración en las brácteas**

Imágenes digitales de las brácteas fueron capturadas con una cámara digital (Sony Cyber-shot® de 6 mp y lente de zoom óptico de 3x Carl Zeiss®), a 30 cm de distancia, con la misma iluminación y en el mismo lugar y hora (1 pm). Después, las imágenes fueron analizadas mediante un prototipo de software desarrollado en MATLAB® (Versión 7.10.0) para la medición de color en imágenes digitales, basado en el principio CIE:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (desarrollado y proporcionado por el Dr. Andrés Herrera Corredor y M.C. Mirna López Espíndola del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba; diciembre de 2011).

Los parámetros del color que fueron registrados son:  $L^*$ = luminosidad, representada por el intervalo entre negro (0) y blanco (100);  $a^*$ = eje del rojo al verde y  $b^*$ = eje del amarillo al azul. Las lecturas fueron registradas en la misma área de cada imagen (Figura 3.2).

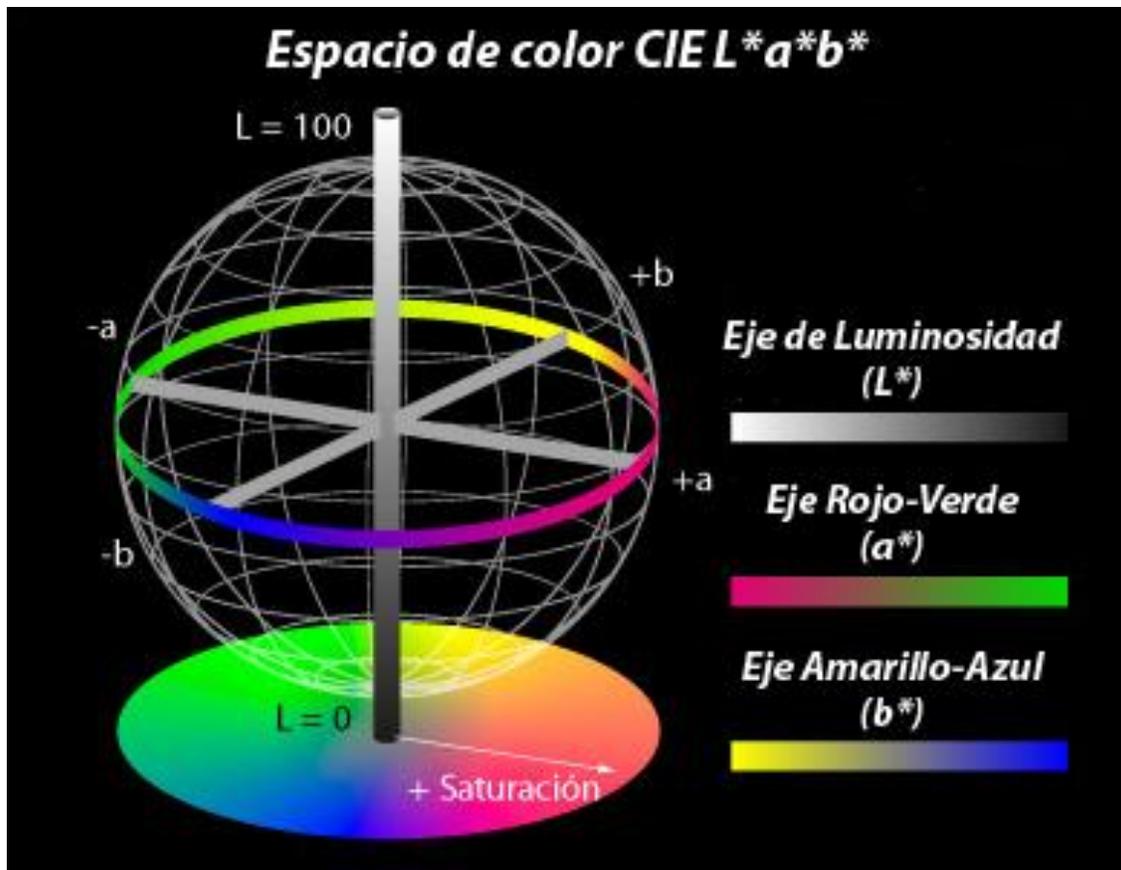


Figura 3.2. Escala de color CIE:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . Disponible en [http://gusgsm.com/espacio\\_color\\_cie\\_lab](http://gusgsm.com/espacio_color_cie_lab) (Consultado el 26/01/2012).

### 3.5.7 Clorofila

Se determinó el contenido relativo de clorofila de las hojas con un medidor de clorofila Minolta SPAD (502 plus ®). Las lecturas se realizaron en un área aproximada a  $0.5 \text{ cm}^2$  de la hoja inmediata a la inflorescencia (Figura 3.3) cada tercer día durante los 10 d.

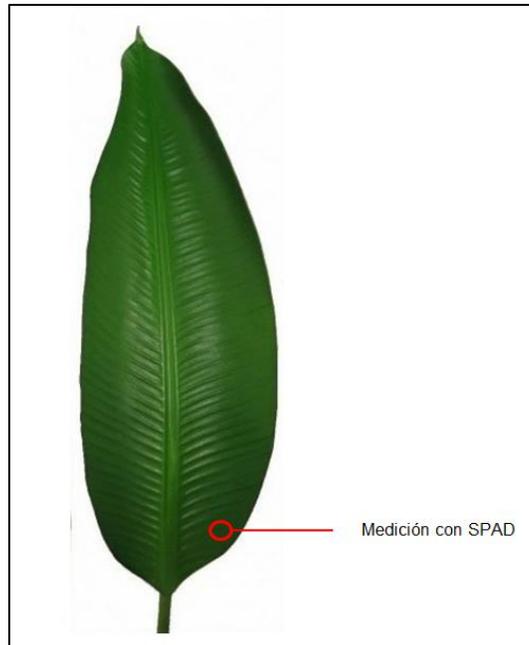


Figura 3.3. Área de medición para las unidades SPAD para determinación del contenido de clorofila indirecta.

A su vez, se evaluó el contenido de clorofilas a, b y total para las tres condiciones de almacenamiento identificadas como las más adecuadas. En este caso se aplicó la metodología establecida por Inskeep y Bloom (1985), en la que se cuantifica la clorofila en un espectrofotómetro después de extraerla de los tejidos con N,N-dimetilformamida. La extracción se hizo de una muestra de 1 cm<sup>2</sup> de tejido foliar, obtenida con un sacabocados cercano al lugar donde se realizó la lectura con el SPAD.

Posteriormente, se registró la biomasa húmeda de las muestras y se depositaron en frascos ámbar con 5 mL de N,N-dimetilformamida; se mantuvieron en refrigeración 24 h, y las lecturas se realizaron a 664.5 y 647.0 nm en el espectrofotómetro (Spectronic2 1D, Milton Roy®).

### **3.5.8 Tasa de transpiración indirecta**

La tasa de transpiración se calculó indirectamente con los volúmenes de agua inicial y final en los floreros. Las evaluaciones se realizaron cada 3 d durante los 10 d.

### **3.5.9 Contenido relativo de agua (CRA)**

Se determinó el CRA en dos áreas del escapo floral: la parte basal que se encontraba en contacto directo con el agua del florero y la parte distal más cercana a las brácteas de la inflorescencia. Para el análisis se seleccionaron segmentos de 1 cm de cada estructura, se registró su biomasa fresca (BF), se sumergieron en agua destilada durante 4 h y se registró el peso túrgido (PT), posteriormente fueron deshidratados en una estufa para secado con calentamiento por convección mecánica, a 72 °C, hasta que su masa permaneció constante (BS). El contenido relativo de agua se determinó de acuerdo con la metodología de Kramer (1974) y Chaman (2007), mediante la fórmula:

$$CRA = \frac{PF - PS}{PT - PS} (100)$$

### **3.5.10 Daño y la permeabilidad de las membranas celulares**

Los daños en las membranas celulares mediante la conductividad eléctrica de los electrolitos liberados y la velocidad a la que esto ocurre; para esto se usaron fragmentos del tallo floral.

De acuerdo a Prášil y Zámeč (1998), el índice de daño de las membranas celulares puede determinarse con la cantidad de electrolitos liberados de los tejidos. Mediante esta técnica se pueden comparar tejidos dañados con los que que tiene la funcionalidad mayor y se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_d = \left( \frac{R_t - R_o}{R_f - R_o} \right) 100$$

Dónde:

$I_d$ = Índice de daño

$R_t$ = Conductividad eléctrica del medio de suspensión de los fragmentos de tallo durante los períodos asignados para cada evaluación.

$R_o$ = Conductividad eléctrica del medio de suspensión de los tallos al inicio de la evaluación.

$R_f$ = Conductividad eléctrica del medio de suspensión de los tallos al inicio del ensayo, es decir el control inicial o  $R_o$  después de haber sido congelado. Los valores fueron ajustados a un gramo de tejido para estandarizar los valores de conductividad eléctrica y determinar el índice de daño en las membranas.

La permeabilidad de las membranas celulares se cuantificó con la metodología de Prášil y Zámeč (1998) y Sánchez-Urdaneta *et al.* (2004) en función de la conductividad eléctrica del medio acuoso en el que permanecían sumergidos los tejidos con un conductímetro (Horiba B-173®).

### **3.5.11 Análisis de la actividad de peroxidasas**

Para la medición de la actividad específica de las peroxidasas y la determinación total de proteínas solubles se seleccionó un segmento de la base del tallo, se pesaron 0.5 g y se maceraron durante 3 min con nitrógeno líquido y 5 mL de solución 0.15 M de NaCl. El extracto fue depositado en tubos Eppendorfs y centrifugados a 10017 g 4°C durante 10 minutos. Cada sobrenadante fue transferido a un Eppendorfs limpio y congelado a -20°C hasta el momento del análisis.

La actividad específica de las peroxidasas fue en un sistema de reacción con guayacol, peróxido de hidrógeno y extracto enzimático. La variación de la absorbancia en un intervalo de 1 min fue registrada a 470 nm en el espectrofotómetro. Para el sistema de reacción se colocaron en un recipiente 1.35 mL de guayacol, 0.05 mL de peróxido de hidrógeno y 0.1 mL de extracto enzimático, en ese orden, y se siguió la metodología descrita por Fatibello-Filho y Vieira (2002).

Para la determinación del contenido de proteínas solubles totales, se utilizó la metodología propuesta por Bradford (1976), con azul brillante (coomassie brilliant blue G-250) para el desarrollo del color. Las lecturas se hicieron en el espectrofotómetro a 595 nm. Los resultados fueron expresados en mg de proteína por  $\text{g}^{-1}$  de materia fresca.

Para calcular la actividad específica de peroxidasa se dividió la actividad enzimática entre el contenido proteico ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de tejido fresco) para cada muestra. El resultado final fue expresado en  $\text{U}\cdot\text{mg}^{-1}$  proteína de peso fresco.

## 3.6 RESULTADOS

### 3.6.1 Pérdida de biomasa fresca

Se observó que durante los dos primeros días, la biomasa fresca permaneció constante entre los tratamientos y posteriormente comenzó a decrecer (Figura 3.4).

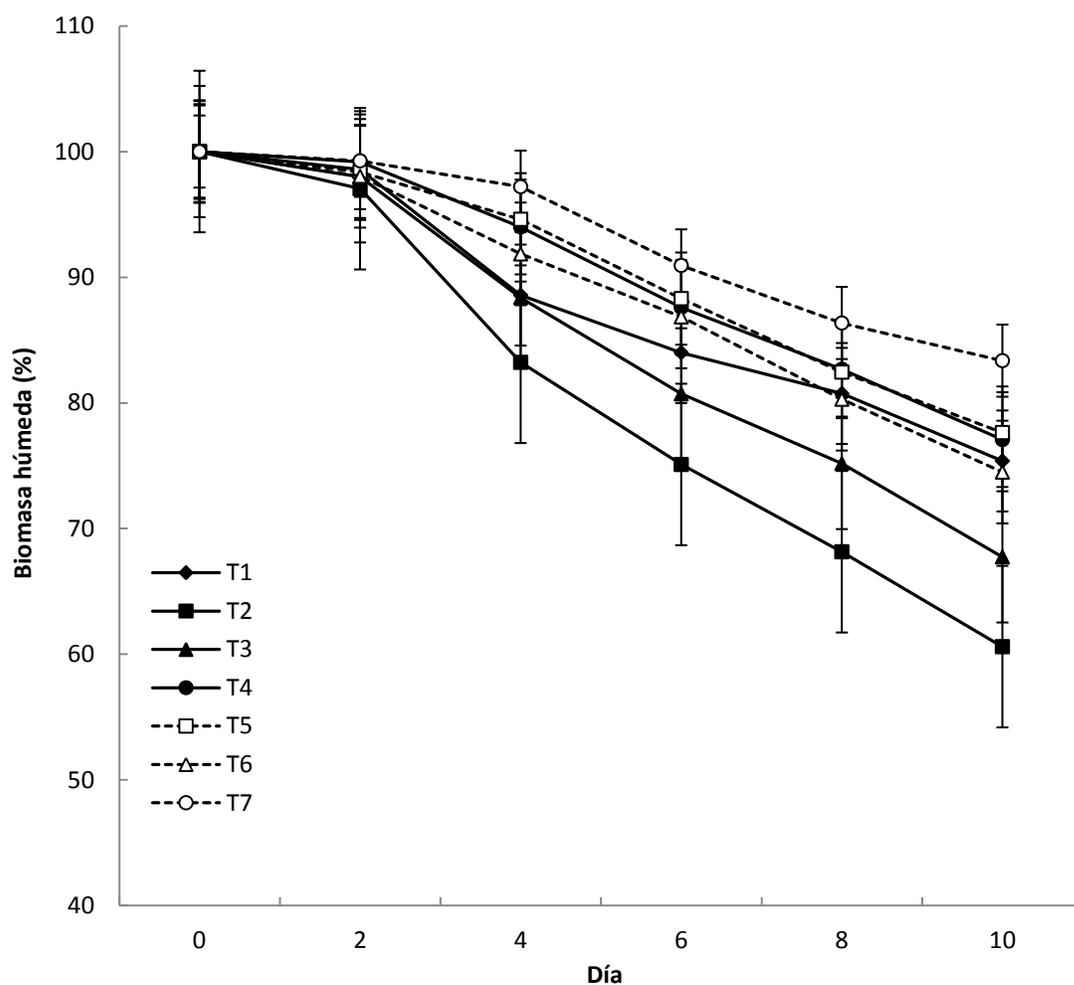


Figura 3.4. Biomasa húmeda en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante la postcosecha. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Existieron diferencias significativas en la pérdida de biomasa entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) y a través del tiempo de evaluación ( $p \leq 0.05$ ). Debido a que la interacción tratamiento x tiempo resultó significativa ( $p \leq 0.05$ ), es posible indicar que los resultados relacionados con la pérdida de biomasa fueron consecuencia de la participación de cada uno de los tratamientos en combinación con el tiempo evaluado.

De acuerdo con la prueba de *t* entre el día 2 y 10 hubo diferencias significativas entre el efecto medio de tratamientos sobre la pérdida de biomasa. Sin embargo, los tratamientos T5, T6 y T7 mostraron la menor pérdida de biomasa en comparación con el resto de ellos (Cuadro 3.3).

Cuadro 3. 3. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la pérdida de biomasa húmeda en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Condición			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	2	10
T1	18	80	82	9.14	8.00 **
T2	26	37	9	12.07	11.7 **
T3	14	70	0	10.47	10.5 **
T4	14	70	103	6.9	7.70 **
T5	15	63	0	9.5	7.30 *
T6	16	60	150	9.53	7.10 *
T7	12	90	26	5.42	3.90 *

Medias para pérdida de biomasa (g),  $\alpha=0.05$ .

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).

Las comparaciones múltiples entre efecto medio de tratamiento resultaron significativas entre el día 2 y 10 del almacenaje, después de 2 d de iniciado el ensayo únicamente hubo diferencias entre T2 y T7, en ese momento este último mostró la pérdida menor de biomasa. Las tendencias cambiaron con el tiempo de almacenamiento y después de los 10 d la biomasa de T7 fue diferente a T1, T2,

T3 y T4. En este tiempo, nuevamente T7 fue el que mostró la mejor respuesta a las condiciones de almacenamiento y conservó más biomasa (Cuadro 3.4).

Cuadro 3. 4. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos sobre la pérdida de biomasa húmeda en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T2	2	T7	2	0.0314 *
T1	10	T7	10	0.0409 *
T2	10	T7	10	0.0071 **
T3	10	T7	10	0.0038 **
T4	10	T7	10	0.0253 *

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).

Tratamientos descritos en el Cuadro 3.1

Sobresalió el tratamiento T7, que perdió menos biomasa (16.4 %, equivalente a 19.6 g en promedio) y T2 que tuvo la r pérdida mayo (39.4 % equivalente a 49.2 g en promedio) (Figura 3.5).

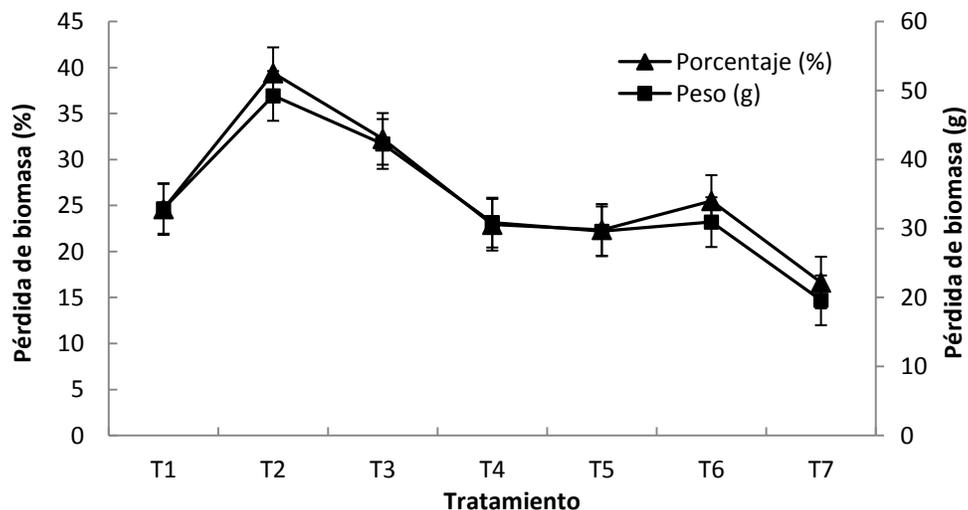


Figura 3.5. Biomasa húmeda perdida por tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica después de 10 d de almacenamiento en postcosecha. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18 °C-80 % H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26 °C-37 % H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14 °C-70 % H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14 °C-70 % H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15 °C-63 % H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16 °C-60 % H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12 °C-90 % H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

### 3.6.2 Cambios de la coloración de las brácteas

#### Luminosidad (L\*)

La luminosidad fue disminuyendo durante el tiempo de almacenamiento con tendencia al negro. Este resultado indica que los tejidos de las brácteas se van marchitando como resultado de los procesos de senescencia de las inflorescencias. Al inicio la luminosidad de T6 presentó el valor mínimo (49.4) y T2 el máximo (63.03); sin embargo, hubo diferencias entre los tratamientos después de 10 d de almacenamiento, T2 fue el que presentó el decremento significativamente mayor, respecto a los otros tratamientos (Figura 3.6).

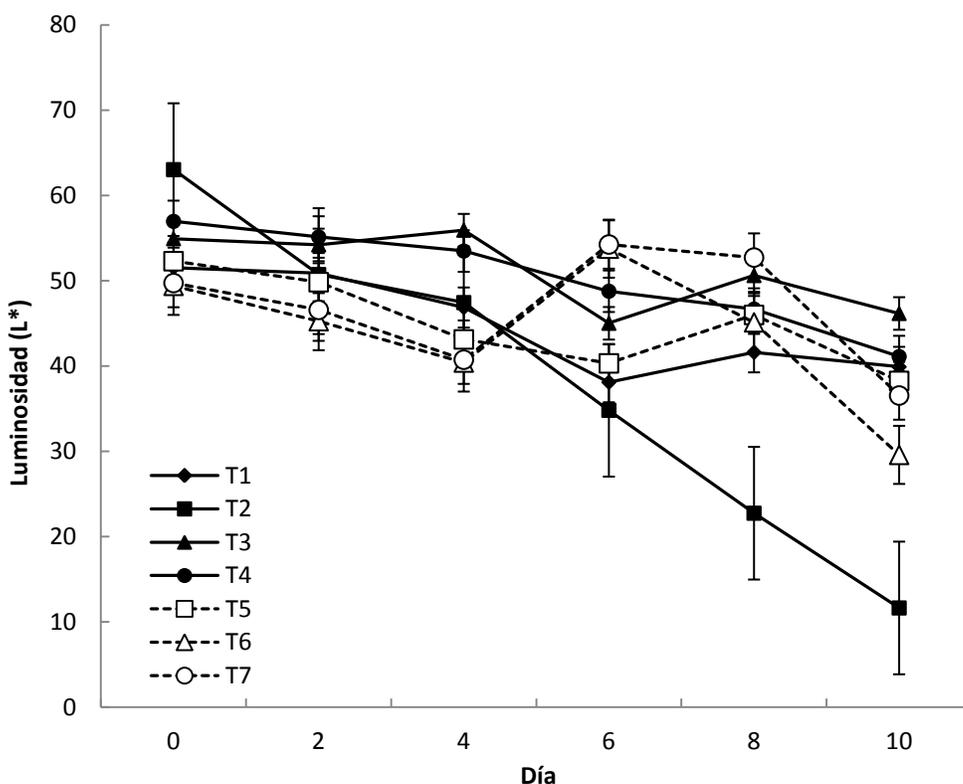


Figura 3.6. Cambios en luminosidad de brácteas florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de almacenamiento en postcosecha. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos ( $P=0.0926$ ); sin embargo, si las hubo a través del tiempo y en la interacción tratamiento x tiempo.

De acuerdo a la prueba de  $t$  entre el día 0 y 10 hubo diferencias significativas entre el efecto medio de tratamientos sobre la luminosidad, T3 conservó mejor la luminosidad, desde el inicio hasta el final del tiempo de almacenamiento (Cuadro 3.5).

Cuadro 3. 5. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la luminosidad en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Condición			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	0	10
T1	18	80	82	51.53	39.90 **
T2	26	37	9	63.03	11.63 **
T3	14	70	0	54.93	46.16 *
T4	14	70	103	56.96	41.11 **
T5	15	63	0	52.29	38.25 **
T6	16	60	150	49.40	29.58 **
T7	12	90	26	49.73	36.54 **

Medias para luminosidad (puntos).  $\alpha=0.05$ . \*\*= $0.01$  (altamente significativo), \*= $0.05$  (significativo),

Las comparaciones múltiples entre efecto medio de tratamiento resultaron significativas, al inicio hubo diferencias en T2, T6 y T7, éstos últimos presentaron los valores mayores de luminosidad. En contraste, después de 10 d T3 y T4 mostraron diferencias respecto a T6 ( $P\leq 0.05$ ) y T7 ( $P\leq 0.01$ ), mientras que T1 sólo se diferenció de T6, T2 siempre fue decremento. (Cuadro 3.6).

Cuadro 3. 6. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos sobre la luminosidad en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T2	1	T6	1	0.0234 *
T2	1	T7	1	0.0280 *
T1	6	T6	6	0.0231 *
T3	6	T6	6	0.0004 **
T3	6	T7	6	0.0337 *
T4	6	T6	6	0.0003 **
T4	6	T7	6	0.0255 *

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).

Tratamientos descritos en el Cuadro 3.1

T2 destacó porque presentó los niveles de luminosidad mayores al inicio del estudio y fue el que tuvo la disminución mayor (48.07 unidades). La pérdida en los demás tratamientos fue como sigue: T1= 11.63, T3= 8.7, T4= 18.85, T5= 14.04, T6= 19.82 y T7= 13.19 unidades. Las diferencias de la disminución de la luminosidad entre los tallos florales como reacción a las condiciones de almacenamiento en la postcosecha probablemente se deben a la degradación de algunos pigmentos de las brácteas, al aumento de otros, como los carotenoides (Foyer *et al.*, 1997; Scandalios, 2005) o ambos.

Los cambios descritos de los tallos florales fueron ejemplificados en las siguientes siete figuras (Figura 3.7 a 3.13). La secuencia de imágenes en la Figura 3.8 muestra los daños y alteraciones en el color, y en general en la apariencia, de los tallos florales mantenido en 26 °C, H.R. 37 % y  $9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  y que se diferenció con las demás condiciones de almacenamiento. En contraste, las imágenes de las Figuras 3.11, 3.12 y 3.13 muestran los cambios menores en los tallos almacenados a 15 °C con 63 % H.R. y ausencia de luz (T5), a 16 °C con 60 % H.R. y  $150 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  de intensidad lumínica (T6) y a 12°C, 90 % H.R. e intensidad lumínica de  $26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  correspondientes (T7). Por lo que, estas condiciones parecen óptimas para mantener los tallos antes de la comercialización en regiones distantes del sitio de producción.



Figura 3.7. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T1): 18 °C-80 % H.R.- $82 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.

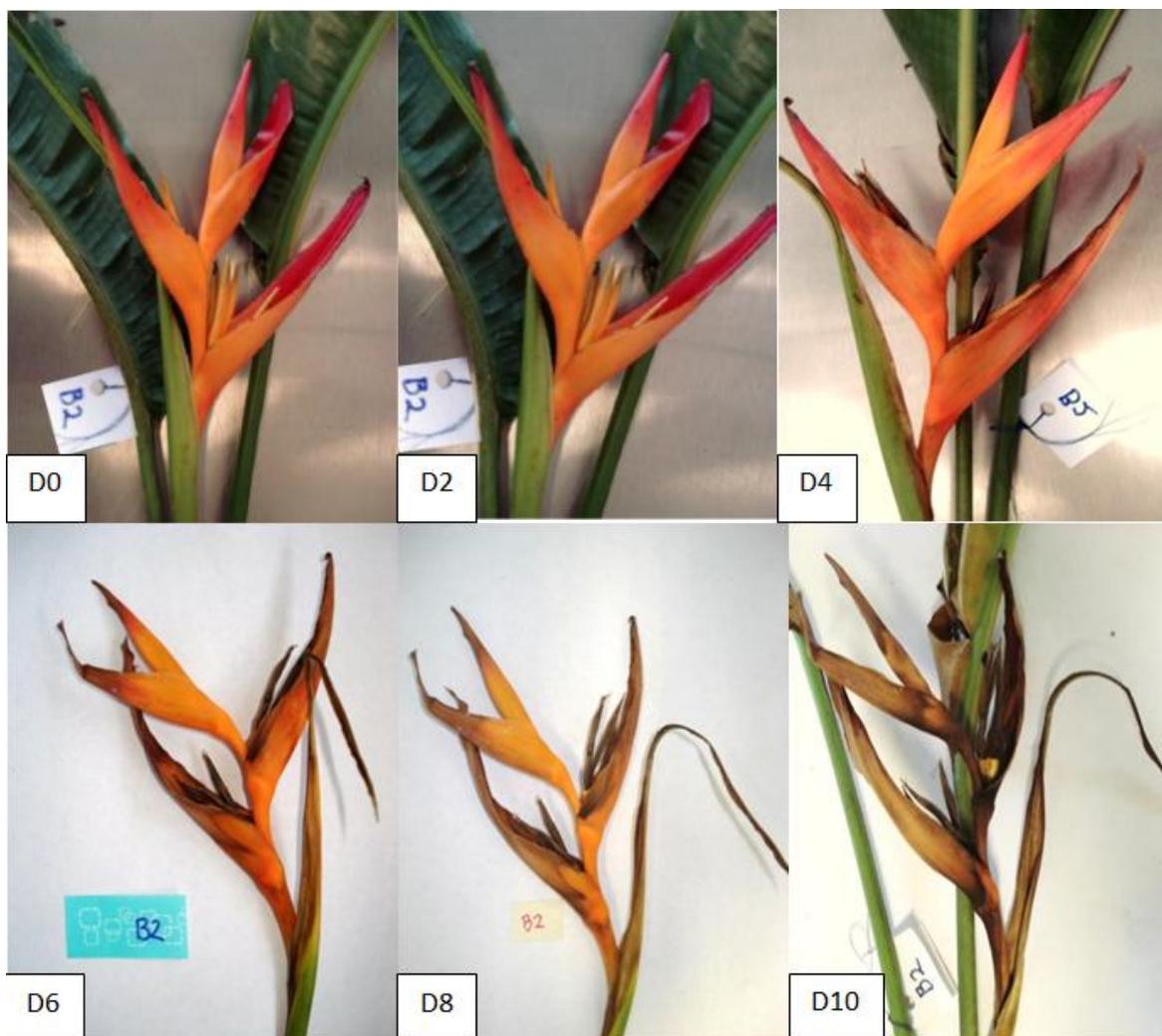


Figura 3.8. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T2): 26°C-37% H.R.- $9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.

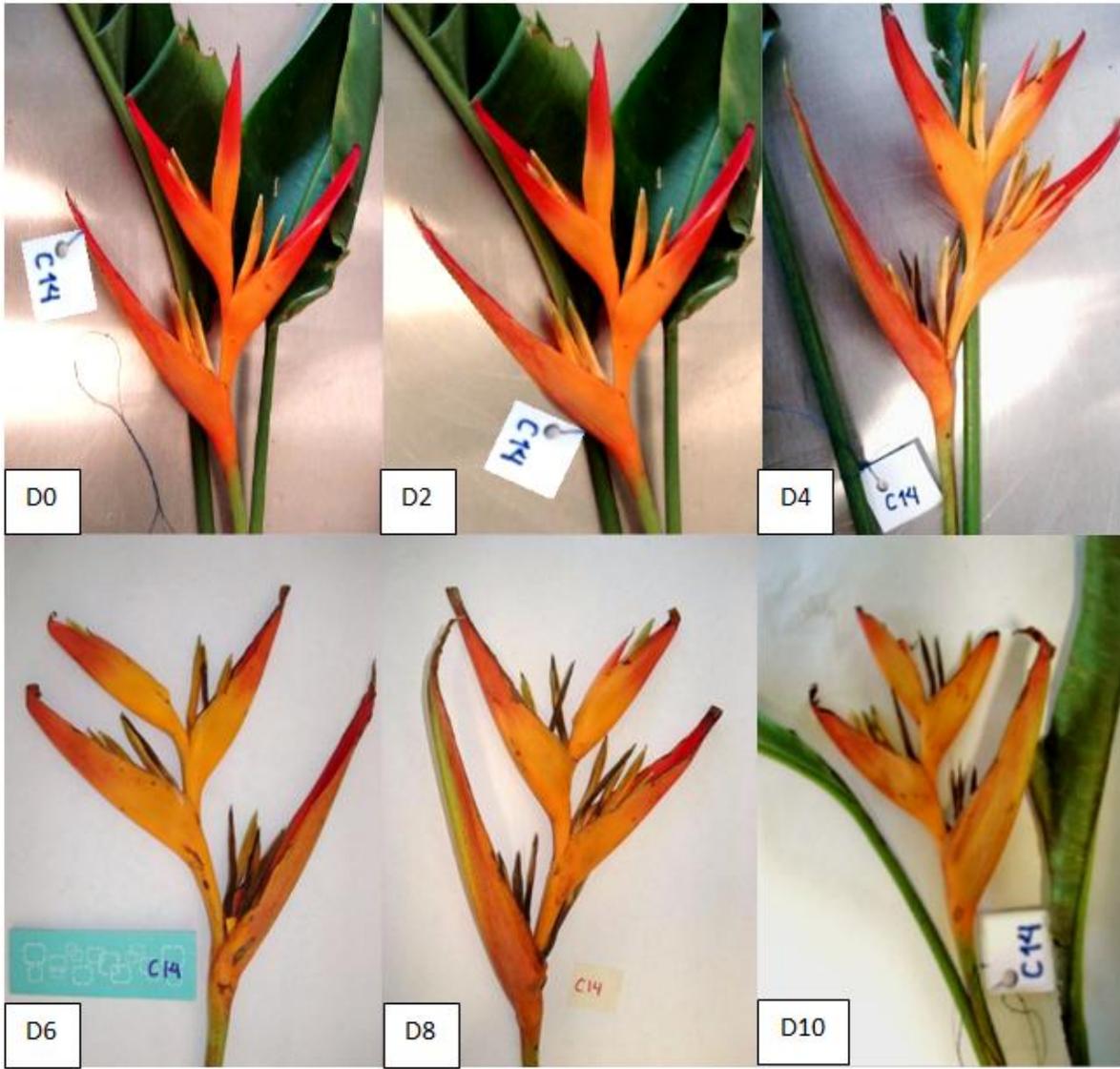


Figura 3.9. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T3): 14°C-70% H.R.- $0 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.

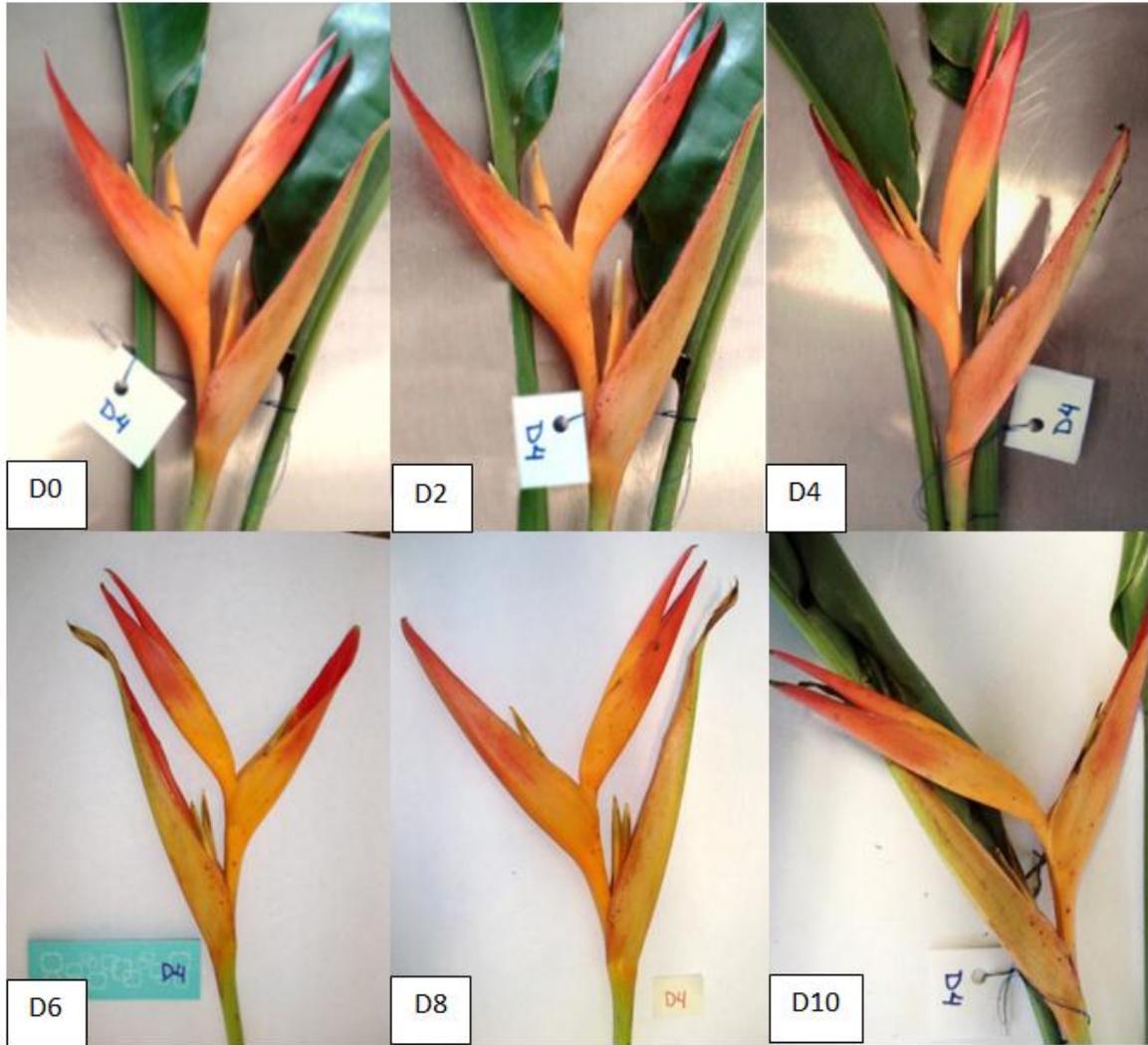


Figura 3.10. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T4): 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.

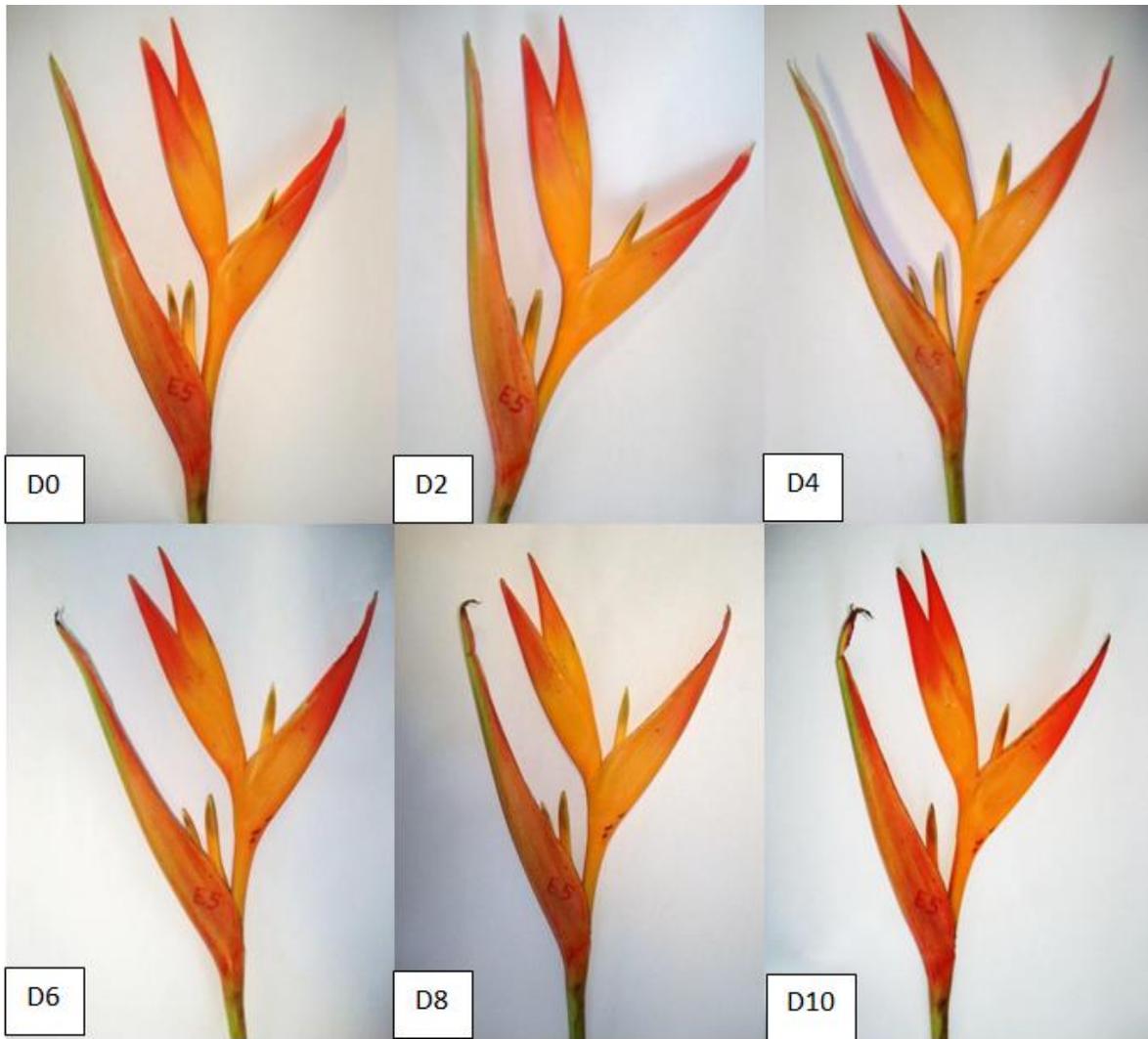


Figura 3.11. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T5): 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.



Figura 3.12. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T6): 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.

Las condiciones de T7 generaron sólo lesiones apicales pequeñas durante los últimos días de evaluación (D8 y D10).

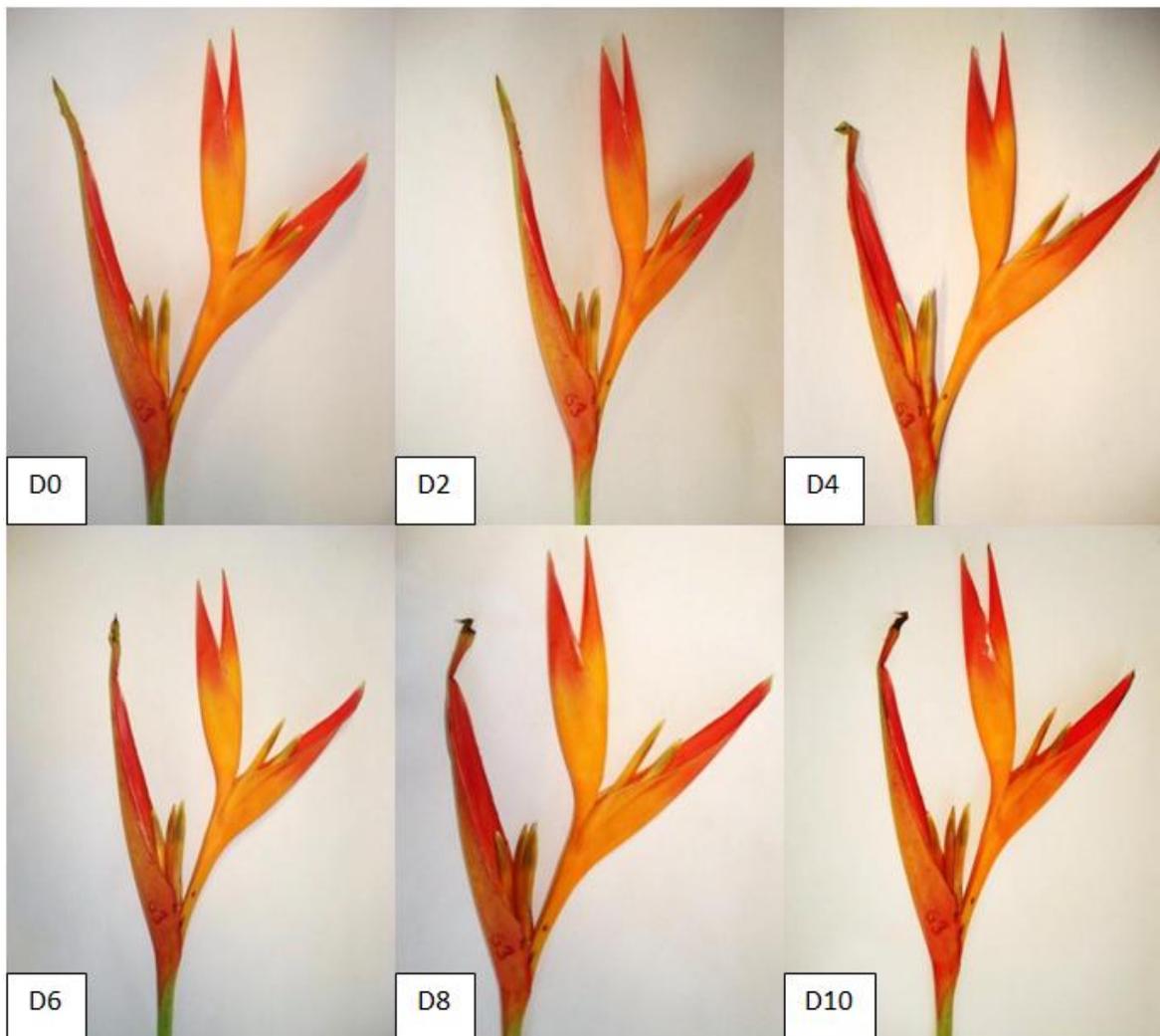


Figura 3.13. Cambios de la coloración de inflorescencias de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica almacenados en las siguientes condiciones (T7): 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  durante 10 d en postcosecha.

## Eje rojo-verde (a\*)

La coloración entre las tonalidades del rojo al verde cambió durante los 10 d. Debido a que todas las lecturas fueron valores positivos, es posible asegurar que hubo tendencia de las inflorescencias a mantener tonalidades rojizas. Desde el inicio hubo variabilidad en esta característica entre los tratamiento, entre 45.9 (T6) y 59.7 (T4) (Figura 3. 14).

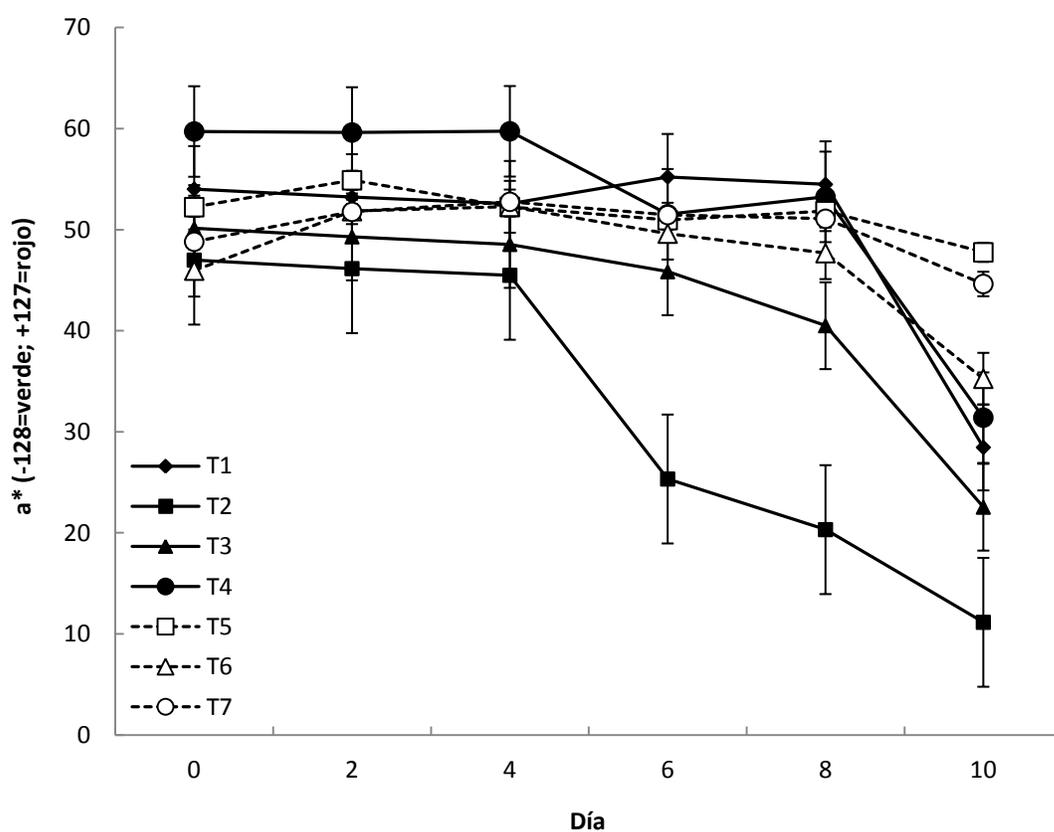


Figura 3.14. Cambios en coloración para el eje a\* en tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos y tiempos de evaluación; así como en la interacción tratamiento x tiempo.

La prueba de t mostró diferencias significativas entre el efecto medio de tratamientos sobre  $a^*$  al inicio y fin del experimento. La disminución mayor de tonalidades rojas al final del almacenamiento lo presentaron de T1 a T4, pero T2 tuvo una tendencia de disminución mayor (Cuadro 3.7).

Cuadro 3. 7. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre  $a^*$  en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Condición			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	0	10
T1	18	80	82	54.03	28.47 **
T2	26	37	9	47.00	11.16 **
T3	14	70	0	50.13	22.55 **
T4	14	70	103	59.73	31.41 **
T5	15	63	0	52.24	47.77 *
T6	16	60	150	45.96	35.26 *
T7	12	90	26	48.82	44.64 *

Medias del eje  $a^*$  (puntos),  $\alpha=0.05$  \*\*=0.01 (altamente significativo) \*=0.05 (significativo)

Las comparaciones múltiples entre efecto medio de tratamientos resultó significativa al inicio en T2, T3, T6, T7 y T4, este último presentaba niveles más intensos de esta coloración, esta diferencia fue aún más marcada en comparación con el tratamiento T6, quien presentó los niveles más bajos en la tonalidad. Al día 10 T2 fue el que mostró los menores valores en esta tonalidad en comparación con el resto de tratamientos, seguido por T3 (Cuadro 3.8).

Cuadro 3. 8. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre a\* en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T2	1	T4	1	0.0082 **
T3	1	T4	1	0.0439 *
T4	1	T6	1	0.0044 **
T4	1	T7	1	0.0226 *
T1	6	T2	6	0.0004 **
T1	6	T5	6	0.0001 **
T1	6	T7	6	0.0009 **
T2	6	T3	6	0.0175 *
T2	6	T4	6	<.0001 **
T2	6	T5	6	<.0001 **
T2	6	T6	6	<.0001 **
T2	6	T7	6	<.0001 **
T3	6	T5	6	<.0001 **
T3	6	T6	6	0.0083 **
T3	6	T7	6	<.0001 **
T4	6	T5	6	0.0008 **
T4	6	T7	6	0.0061 **
T5	6	T6	6	0.0094 **
T6	6	T7	6	0.0488 *

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).  
Tratamientos descritos en el Cuadro 3.1

## Eje amarillo-azul ( $b^*$ )

Destacó la disminución de la tonalidad amarilla de T2, que sucedió desde el inicio. Además, con excepción de T2, el tono amarillo incrementó en los primeros días del almacenamiento; T6 lo incrementó en los primeros 2 d, T5 en 6 d y los demás tratamientos en cuarto día (Figura 3.15).

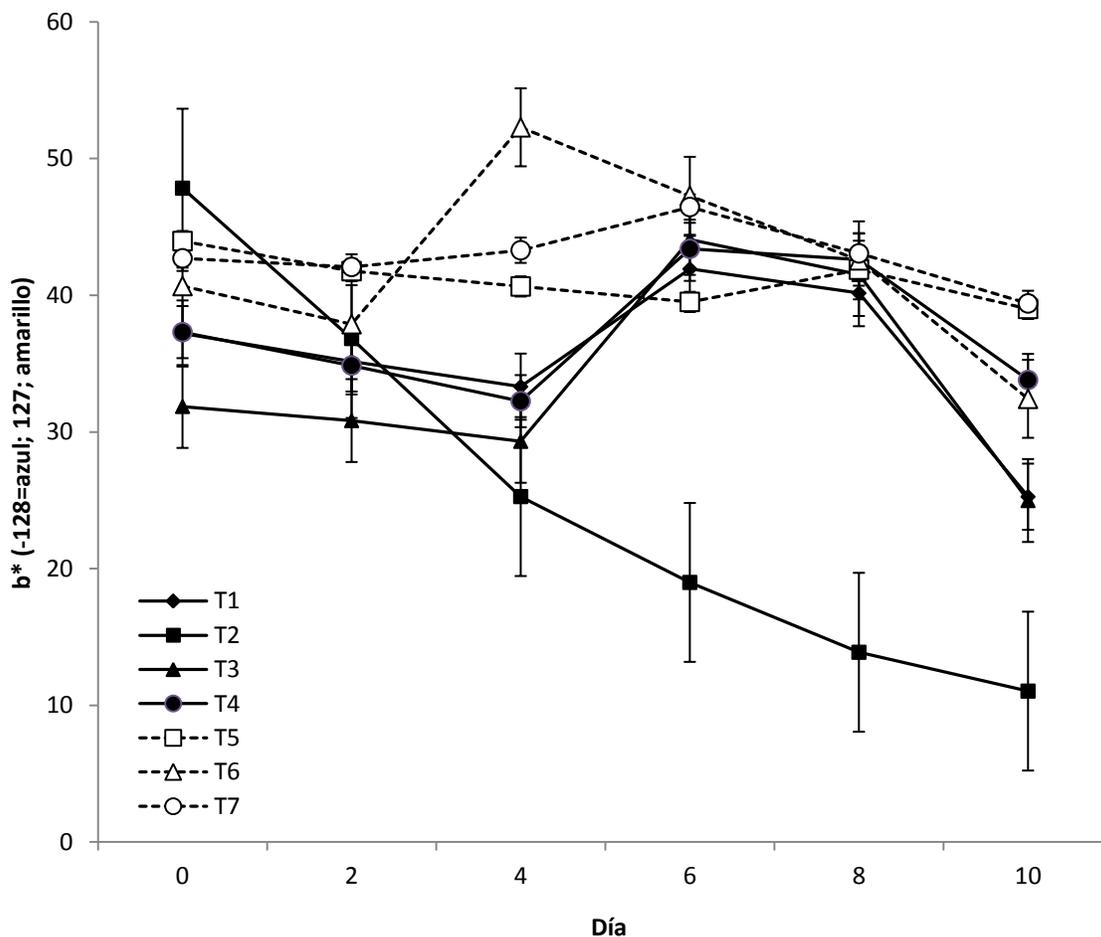


Figura 3.15. Cambios en coloración para el eje  $b^*$  en tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Existieron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, a través del tiempo, y la interacción tratamiento x tiempo fue significativa para el componente amarillo-azul del color. Similar a la variable  $a^*$ , el eje amarillo-azul ( $b^*$ ) tuvo valores positivos en todos los casos; así, tuvieron y mantuvieron la tonalidad amarilla, y podría alcanzar valor máximo de 127 puntos.

De acuerdo a la prueba de  $t$  del día 0 y 10, hubo diferencias significativas entre el efecto medido de tratamientos sobre el eje  $b^*$ : T1, T2 y T6 fueron los que perdieron la mayor coloración desde el inicio hasta el fin del almacenaje (Cuadro 3.9).

Cuadro 3. 9. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre  $b^*$  en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Tratamiento			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	0	10
T1	18	80	82	37.20	25.26 **
T2	26	37	9	47.83	11.04 **
T3	14	70	0	31.86	24.98 NS
T4	14	70	103	37.30	33.80 NS
T5	15	63	0	43.96	39.00 NS
T6	16	60	150	43.96	32.42 *
T7	12	90	26	40.67	39.40 NS

Medias del eje  $b^*$  (puntos).  $\alpha=0.05$ . \*\*= 0.01 (altamente significativo) \*=0.05 (significativo). NS= No significativo.

Las comparaciones múltiples entre efecto medio de tratamientos resultó significativa al inicio entre T2 y T3, el primero tuvo los niveles más altos en el eje  $b^*$  y el último tuvo la menor coloración. En el día 10, T1 y T2 mostraron la mayor disminución en el eje  $b^*$ , en contraste a T5 y T7 que conservaron mejor estos niveles (Cuadro 3.10).

Cuadro 3. 10. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre b\* en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T1	1	T2	1	0.0302 *
T2	1	T3	1	0.0014 **
T2	1	T4	1	0.0318 *
T3	1	T5	1	0.0141 *
T3	1	T7	1	0.0274 *
T1	6	T2	6	0.0042 **
T1	6	T5	6	0.0056 **
T1	6	T7	6	0.0044 **
T2	6	T3	6	0.0050 **
T2	6	T4	6	0.0001 **
T2	6	T5	6	0.0001 **
T2	6	T6	6	0.0001 **
T2	6	T7	6	0.0001 **
T3	6	T5	6	0.0048 **
T3	6	T7	6	0.0037 **

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo)

Tratamientos descritos en el Cuadro 3.1

### 3.6.3 Clorofila

Los valores SPAD de clorofila se basan en la absorción de la luz de longitud de onda equivalente al color azul por la clorofila y la transmitancia a través de la hoja del resto del espectro visible; la absorbancia es cuantificada en valores adimensionales que van de 0 a 199 (Hoeft y Reck, 2002).

Existió diferencia notable en las unidades SPAD de T2 y los demás tratamientos, ya que a partir del segundo día de almacenamiento las unidades SPAD de T2 decrecieron aceleradamente. En los otros tratamientos se mantuvieron constantes (Figura 3.16).

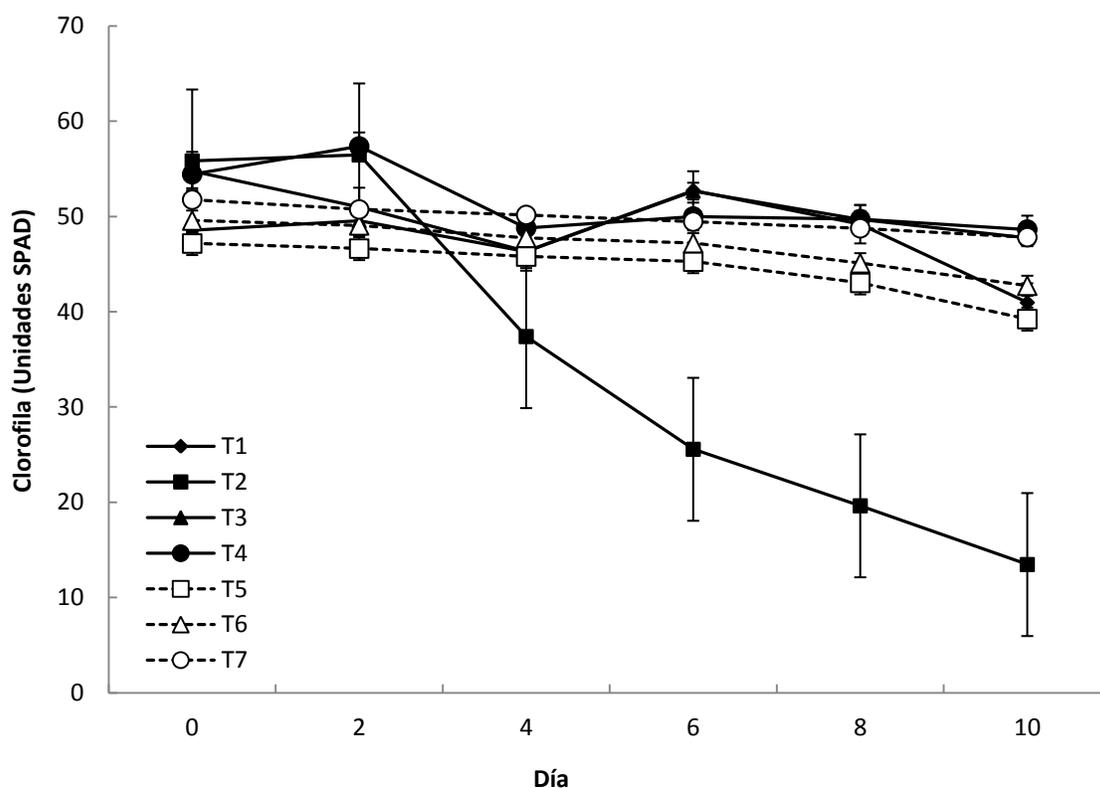


Figura 3.16. Clorofila en tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Así, no existieron diferencias entre los tratamientos; sin embargo, hubo significancia entre los tiempos de evaluación y en la interacción tratamiento x tiempo ( $p \leq 0.001$ ).

Hubo diferencias significativas entre el efecto medio de tratamientos sobre la clorofila en el día 0 y 10 en T1, T2 y T5 respecto a T3, T4, T6 y T7, los primeros mostraron la mayor degradación de clorofila, mientras que los últimos cuatro preservaron mejor este pigmento (Cuadro 3.11).

Cuadro 3. 11. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la clorofila en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Condición			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	0	10
T1	18	80	82	54.76	40.96 **
T2	26	37	9	55.83	13.46 **
T3	14	70	0	48.56	47.76 NS
T4	14	70	103	54.43	48.63 NS
T5	15	63	0	47.16	39.23 *
T6	16	60	150	49.57	42.73 NS
T7	12	90	26	51.76	47.83 NS

Medias para clorofila (unidades SPAD)  $\alpha=0.05$

\*\*= (altamente significativo) \* $\alpha=0.05$  (significativo). NS= No significativo.

Las comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos resultó significativa, después de 10 d únicamente en T2 fue significativa (Cuadro 3.12). Es decir, la temperatura alta (26°C) en combinación con H.R. (37 %) e intensidad lumínica ( $9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) bajas fue desfavorable para la clorofilas; pues T2 presentó en promedio 13.4 unidades SPAD y contrastó con el valor más alto, 48.6 de T4, (Cuadro 3.11).

Cuadro 3. 12. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la clorofila en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T1	6	T2	6	0.0006 **
T2	6	T3	6	<.0001 **
T2	6	T4	6	<.0001 **
T2	6	T5	6	0.0011 **
T2	6	T6	6	0.0003 **
T2	6	T7	6	<.0001 **

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).

Tratamientos descritos en el Cuadro 3.1

Además de la medición de las unidades SPAD de todos los tratamientos se evaluó el contenido de clorofilas *a*, *b* y total en T5, T6 y T7 al inicio del almacenamiento (día 0), a la mitad (día 5) y al final (día 10).

En este apartado, se utilizó el diseño completo al azar (DCA) con  $n=3$ . EL análisis de varianza indicó que no se existieron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 19). Este resultado concuerda con las determinaciones con el SPAD.

En general, las clorofilas de T5, T6 y T7 al inicio, 5 y 10 después del almacenamiento cambiaron con tendencia similar; decrecieron en todos los casos (Figura 3.17). El contenido de clorofila *a* inició con valores entre 5.1 y 5.4  $\text{mg g}^{-1}$  y después de 10 d disminuyó 1.9  $\text{mg g}^{-1}$  en T7 (Figura 3.17-A).

Los niveles de clorofila *b* siguieron la tendencia que la clorofila *a*, comenzaron entre 2.5 y 2.6  $\text{mg}^{-1}\text{g}^{-1}$  y disminuyó hasta situarse en 1.0  $\text{mg}^{-1}\text{g}^{-1}$  para los tratamientos T5 y T6 y 1.4  $\text{mg}^{-1}\text{g}^{-1}$  para el tratamiento T7 después de 10 d (Figura 3.17-B). La clorofila total inició con niveles de 8.0 a 7.5 y 7.8  $\text{mg}^{-1}\text{g}$  y finalizó entre 3.0 y 4.3  $\text{mg}^{-1}\text{g}^{-1}$ , siempre con tendencia decreciente (Figura 3.17-C).

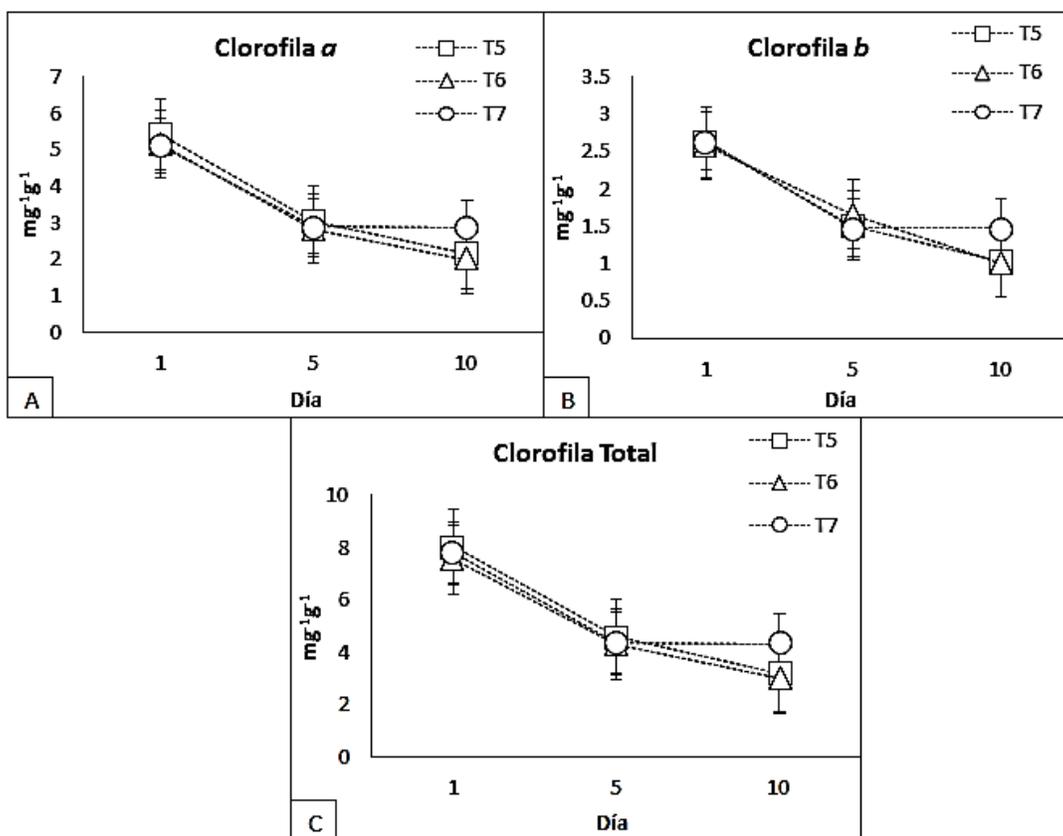


Figura 3.17. Clorofilas en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación en tres tratamientos evaluados para seleccionar la mejor condición de almacenamiento. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

### 3.6.4 Transpiración

Durante los primeros 4 d de almacenamiento existieron mayores fluctuaciones en la transpiración que en el resto de los días. A partir del día 6, la transpiración fue menor y constante (Figura 3.18).

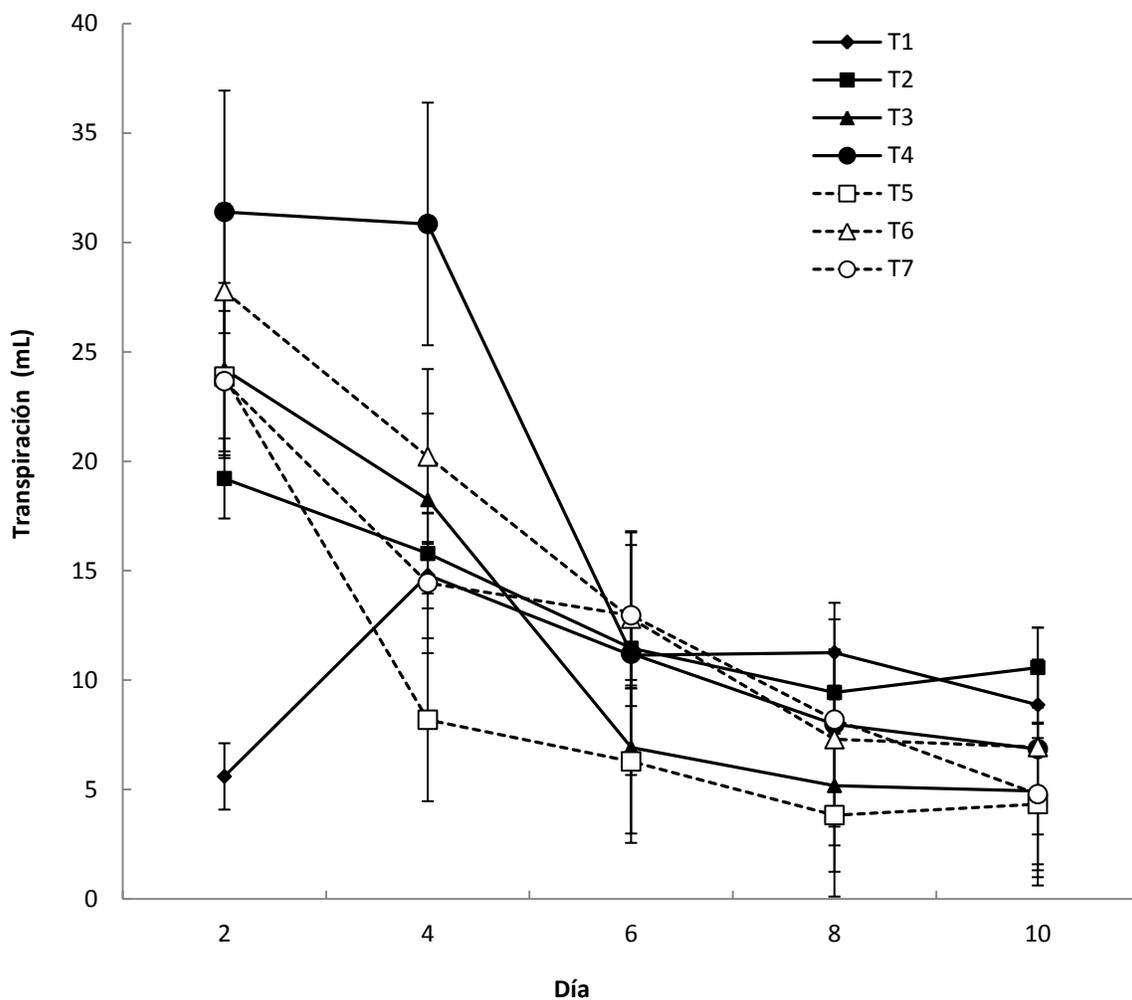


Figura 3.18. Transpiración en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos y a través del tiempo ( $p \leq 0.01$ ) y la interacción tratamiento x tiempo fue significativa.

De acuerdo a la prueba de  $t$  entre el día 0 y 10, hubo diferencias significativas entre el efecto medio de tratamientos sobre la transpiración; T1 tuvo la transpiración menor y constante durante el tiempo de almacenaje (5.6 a 8.87 mL). El resto de los tratamientos mostraron fluctuaciones en la transpiración inicial y final (Cuadro 3.13).

Cuadro 3. 13. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la transpiración en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Condición			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	0	10
T1	18	80	82	5.60	8.87 <sub>NS</sub>
T2	26	37	9	19.21	10.57 <sup>*</sup>
T3	14	70	0	24.21	4.93 <sup>**</sup>
T4	14	70	103	31.39	6.85 <sup>**</sup>
T5	15	63	0	23.87	4.34 <sup>**</sup>
T6	16	60	150	27.77	6.94 <sup>**</sup>
T7	12	90	26	23.66	4.79 <sup>**</sup>

Medias para transpiración (mL)  $\alpha=0.05$

\*\*= (altamente significativo)    \*=0.05 (significativo). <sub>NS</sub>= No significativo.

Las combinaciones de tratamientos del día 0 y 10 resultaron significativas, al inicio T1 mostró la menor transpiración que el resto de tratamientos, mientras que después de 10 d, T1 mostró la mayor tasa transpiratoria al igual que T2 (Cuadro 3.14).

Cuadro 3. 14. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la transpiración en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T1	1	T2	1	0.0118 *
T1	1	T3	1	0.0008 **
T1	1	T4	1	<.0001 **
T1	1	T5	1	0.0009 **
T1	1	T6	1	<.0001 **
T1	1	T7	1	0.0011 **
T2	1	T4	1	0.0235 *
T1	10	T3	10	0.0140 *
T1	10	T5	10	0.0050 **
T1	10	T7	10	0.0111 *
T2	10	T3	10	0.0006 **
T2	10	T4	10	0.0197 *
T2	10	T5	10	0.0002 **
T2	10	T6	10	0.0227 *
T2	10	T7	10	0.0005 **

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).

Tratamientos descritos en el Cuadro 3.1

T5 fue el que mostró el menor porcentaje de transpiración, ya que después de 10 días de evaluación presentó una tasa del 5.7 %, en contraste al T4 (12.3 %, Figura 3.19).

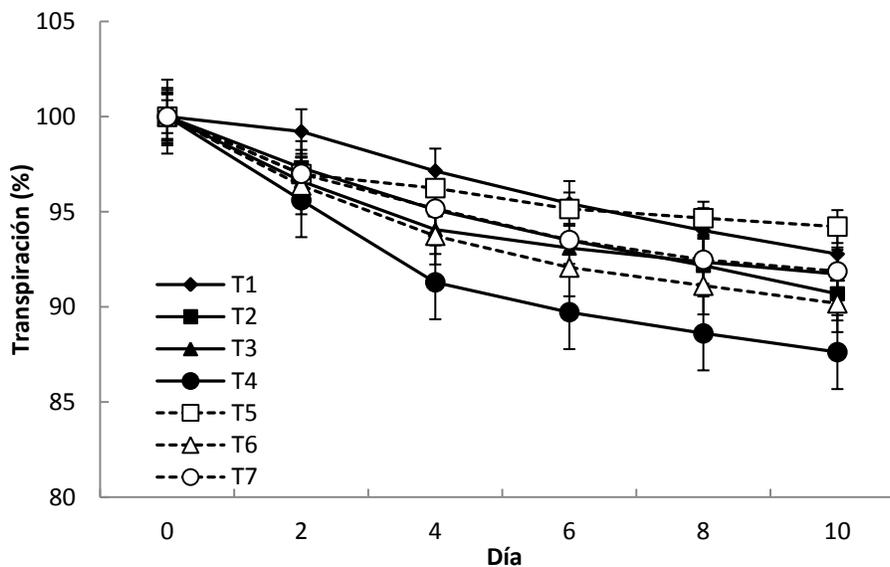


Figura 3.19. Transpiración expresada en porcentaje de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Tratamientos descritos en Cuadro 3.1.

### 3.6.5 Contenido relativo de agua (CRA)

T1 mantuvo el CRA menor que los otros tratamientos durante los 10 d de almacenamiento; por lo que, las inflorescencias de este tratamiento tuvieron un estado hídrico deficiente en comparación con los demás. Además, sobresalió T7 debido a que se mantuvo estable (Figura 3.20).

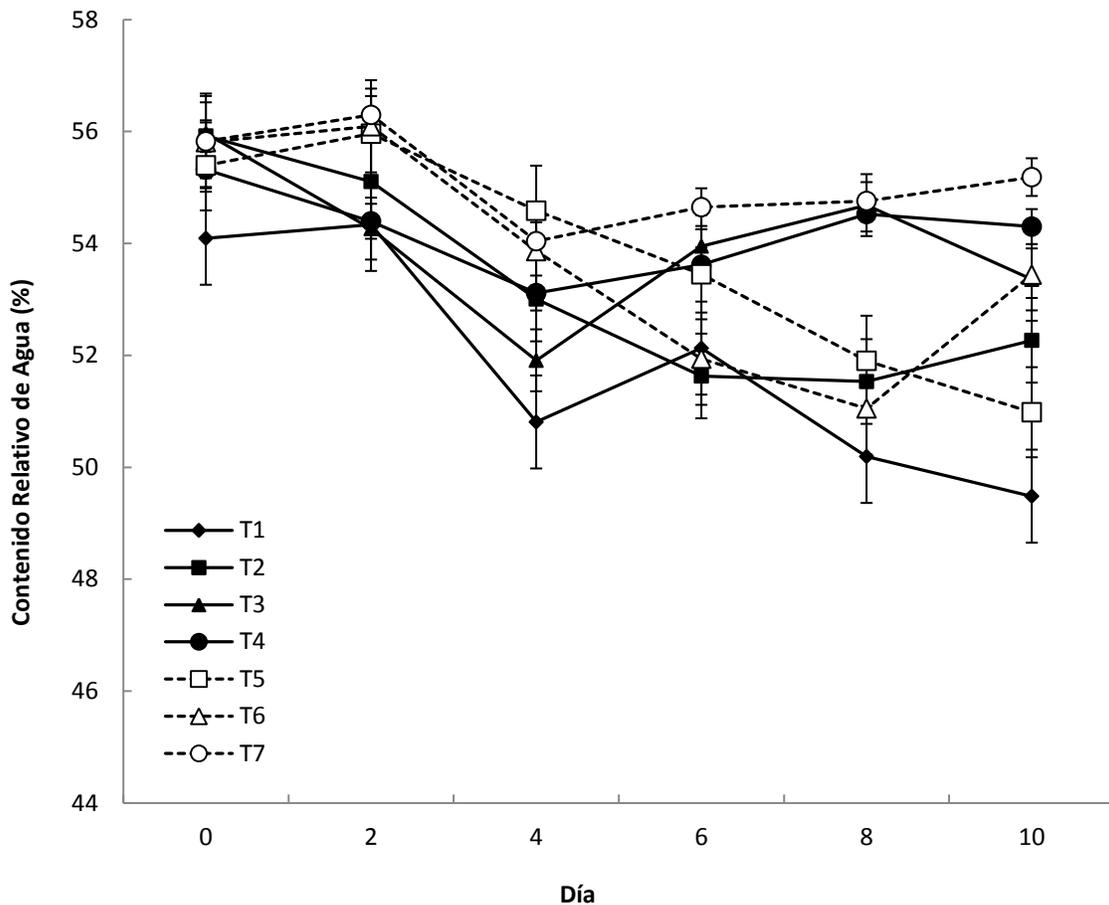


Figura 3.20. Contenido relativo de agua en la zona basal del escapo floral de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

El contenido relativo de agua en la zona basal del tallo presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre en los tratamientos, a través del tiempo y la interacción tratamiento x tiempo también fue significativa.

En el día 6 únicamente el tratamiento T1 presentó el CRA menor en comparación con los otros tratamientos; los resultados del día 10 fueron idénticos al día 6 (Cuadro 3.15).

Cuadro 3. 15. Prueba Tukey para el CRA de la zona basal del escapo floral de los tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante los días de evaluación 6 y 10.

Código	Condición			Día	
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	6	10
T1	18	80	82	50.8 b <sup>z</sup>	50.1 b
T2	26	37	9	53.0 ab	51.5 ab
T3	14	70	0	51.9 ab	54.6 ab
T4	14	70	103	53.1 ab	54.5 ab
T5	15	63	0	54.5 a	51.9 ab
T6	16	60	150	53.8 ab	51.0 ab
T7	12	90	26	54.0 ab	54.7 a

<sup>z</sup>Medias dentro de columnas con letras iguales son similares estadísticamente (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

El CRA en la zona apical del escapo floral indica que T2 tuvo la deshidratación mayor desde el inicio del estudio. Por otro lado, en los primeros 4 d de almacenamiento existió una tendencia similar y constante en todos los tratamientos, con excepción de T2, ya que comenzó a disminuir drásticamente. El día 6, T1 tuvo un descenso significativo que parece haber recuperado el día 8 (Figura 3.21).

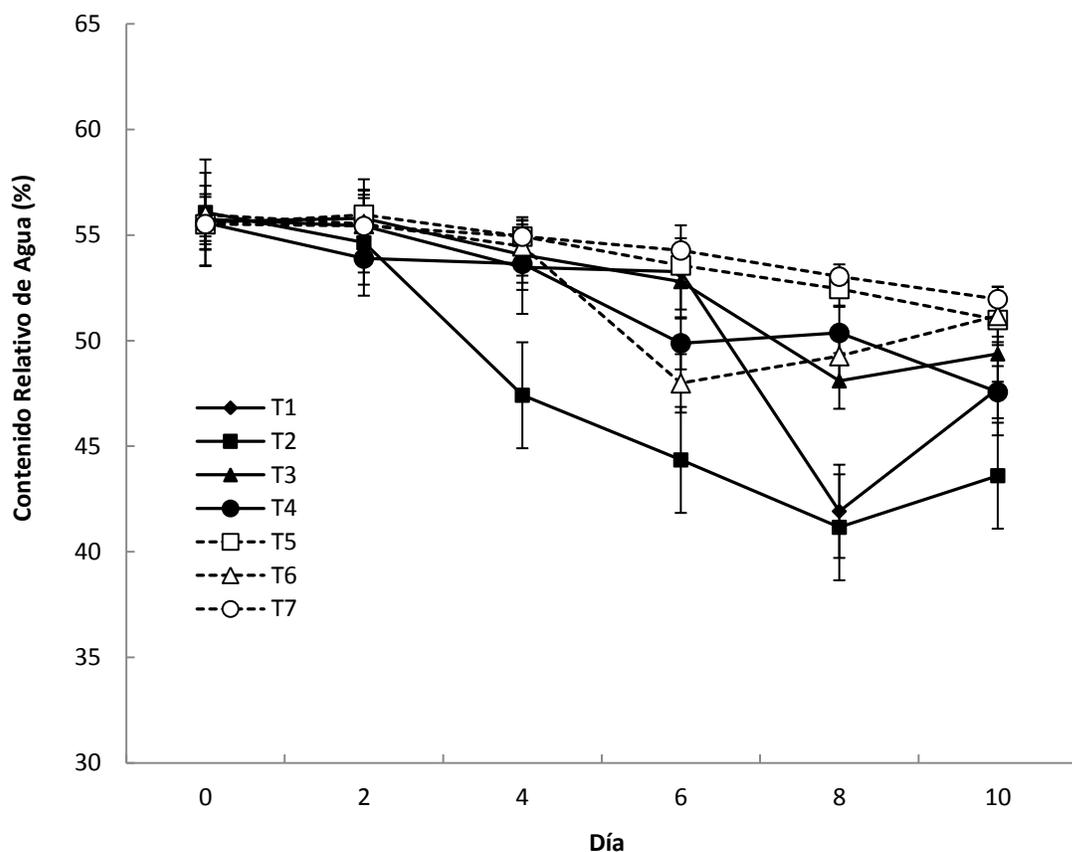


Figura 3.21. Contenido relativo de agua en la zona apical del escapo floral de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Después de 6 y 8 d todos los tratamientos, con excepción T2, tuvieron los CRA mayores. Sin embargo, con 10 d de almacenamiento T1 y T2 disminuyeron su CRA (Cuadro 3.16).

Cuadro 3. 16. Prueba de Tukey para el CRA de la zona apical del escapo floral de los tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante los días de evaluación 6, 8 y 10.

Cod.	Condición			Día					
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	6		8		10	
T1	18	80	82	53.4	a <sup>z</sup>	53.2	a	41.9	b
T2	26	37	9	47.4	b	44.3	b	41.1	b
T3	14	70	0	54.0	a	52.8	a	48.0	ab
T4	14	70	103	53.6	a	49.8	ab	50.3	ab
T5	15	63	0	54.9	a	53.5	a	52.4	a
T6	16	60	150	54.4	a	47.9	ab	49.2	ab
T7	12	90	26	54.9	a	54.2	a	53.0	a

<sup>z</sup>Medias dentro de columnas con letras iguales son iguales estadísticamente (Tukey,  $\alpha=0.05$ ), Cod.= Código

### 3.6.6. Daño y permeabilidad de las membranas celulares

Después del segundo día y hasta el día 8, T5, T6 y T7 incrementaron la liberación de electrolitos, y por tanto, mostraron un mayor índice de daño en las membranas. En contraste, T1, T2, T3 y T4 tuvieron una tendencia constante hasta el día 6, posteriormente también incrementaron drásticamente la liberación, y sobrepasó a T5, T6 y T7, únicamente T4 mantuvo tendencia similar a T5, T6 y T7 (Figura 24).

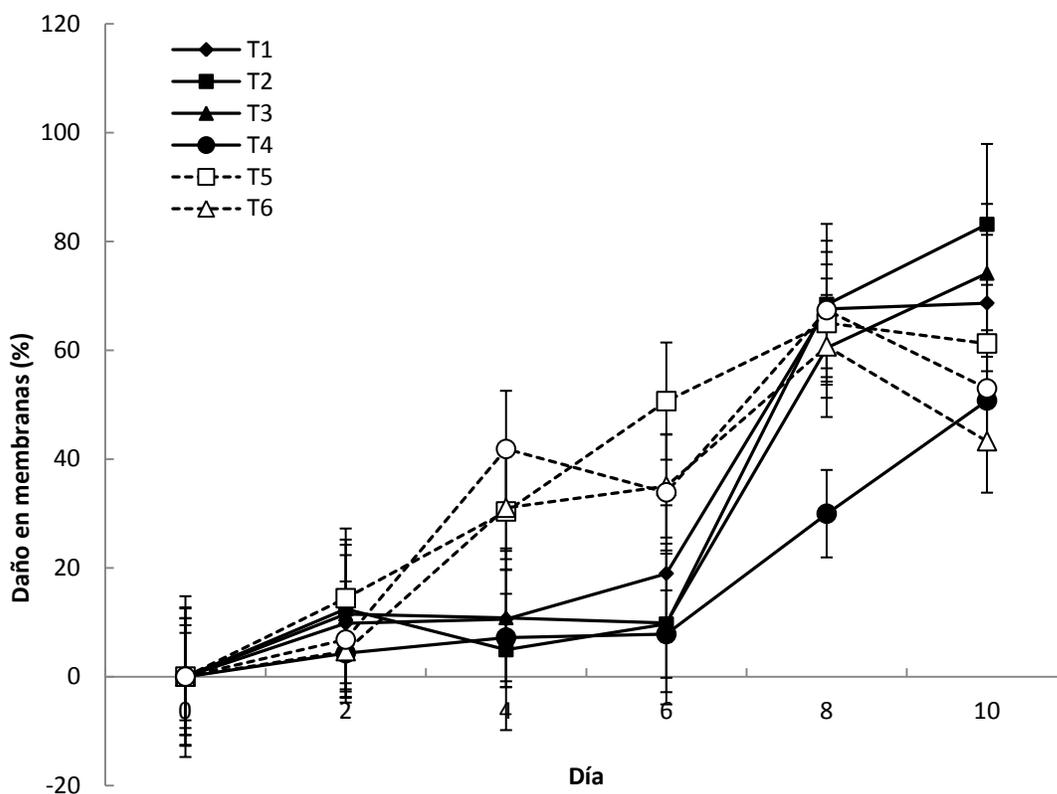


Figura 3.22. Índice de daño en membranas celulares en tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Existieron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el daño en las membranas celulares de los tallos. A partir del segundo día y hasta el final del almacenamiento existieron diferencias significativas.

Después de 2 d T1, T2, T3 y T5 mostraron índice de daño en membranas mayor que el resto de los tratamientos, esta respuesta incluyó almacenamiento con temperatura entre 14 y 26°C. A partir de los 4 d la tendencia se invirtió y T5, T6 y T7 fueron los que presentaron la liberación mayor de electrolitos. En el día 6 la tendencia fue similar a la del día 4. Después de 8 d todas las condiciones evaluadas, con excepción de la correspondiente a T4, presentaron el daño celular mayor (Cuadro 3.18).

Cuadro 3. 17. Prueba de Tukey para el índice de daño en membranas celulares de los tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante los 10 días de almacenaje.

Cod.	Condición			Día									
	T*	HR**	L***	2	4	6	8	10					
T1	18	80	82	9.7	ab <sup>z</sup>	10.5	b	18.9	cd	67.5	a	68.6	ab
T2	26	37	9	12.4	a	4.7	b	9.6	d	68.4	a	83.1	a
T3	14	70	0	11.5	a	10.8	b	9.8	d	60.4	ab	74.1	ab
T4	14	70	103	4.2	b	7.1	b	7.8	d	29.9	b	50.7	b
T5	15	63	0	14.4	a	30.3	a	50.6	a	65.0	a	61.2	ab
T6	16	60	150	4.6	b	31.0	a	35.0	ab	60.7	ab	43.2	b
T7	12	90	26	6.8	b	41.8	a	33.8	bc	67.3	a	52.9	ab

<sup>z</sup>Medias dentro de columnas con letras iguales son iguales estadísticamente (Tukey,  $\alpha=0.05$ ). T\*= Temperatura (°C), HR\*\*= Humedad relativa (%), L\*\*\*= Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), Cod= Código

### 3.6.7. Actividad de peroxidasas

La actividad específica fluctuó entre las 7.5 (T5) y 9.2 (T7) unidades. En contraste, 10 d de almacenamiento incrementó ( $p \leq 0.05$ ) los valores de POX a 10.5 (T7) y 13.8 (T2) unidades. Las condiciones de ambos tratamientos fueron los extremos de los intervalos evaluados, tanto la temperatura como la H.R. máxima y mínima; aunque, la luz fue reducida en ambos tratamientos. (Figura 3.22).

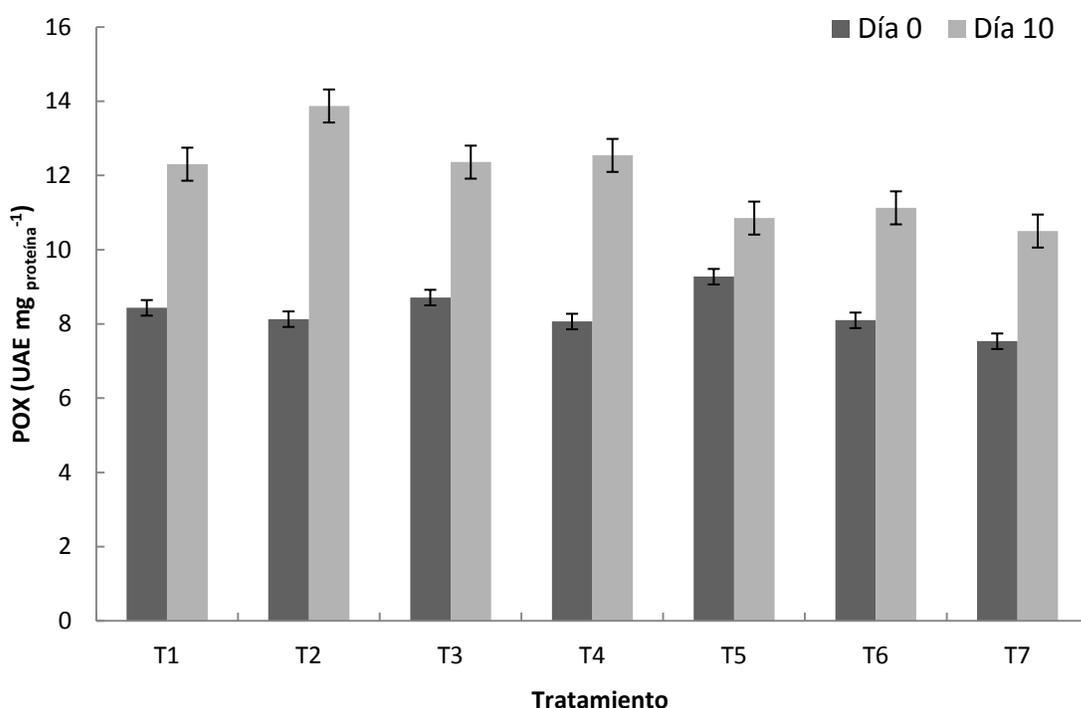


Figura 3.23. Peroxidasa en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica a lo largo de 10 días de evaluación. Los tratamientos (T) de almacenamiento fueron T1= 18°C-80% H.R.-82  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T2= 26°C-37% H.R.-9  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T3= 14°C-70% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T4= 14°C-70% H.R.-103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T5= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T6= 16°C-60% H.R.-150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; T7= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

No existieron diferencias significativas en POX al inicio del almacenamiento entre los tratamientos. Los tratamientos que tuvieron la actividad POX menor fueron T5, T6 y T7 (entre 10.5 y 11.1 unidades); de ellos, T5 fue el que mostró la tendencia

menor de estrés, aunque fueron estadísticamente iguales entre sí, T5 acusó un aumento de sólo 1.58 unidades, mientras que el tratamiento con mayor estrés T2, que presentó 13.8 unidades; es decir, desde el inicio hasta el final aumentó 5.74 unidades (Cuadro 3.18).

Cuadro 3. 18. Prueba de Tukey para peroxidasa en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante los 10 días de almacenaje.

Cod.	Condición			Día		Día	Día
	Temp. (°C)	H.R. (%)	Luz $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	0	10		
T1	18	80	82	8.43	a <sup>z</sup>	12.30	b
T2	26	37	9	8.13	a	13.87	a
T3	14	70	0	8.71	a	12.36	b
T4	14	70	103	8.06	a	12.54	ab
T5	15	63	0	9.27	a	10.85	c
T6	16	60	150	8.09	a	11.12	c
T7	12	90	26	7.53	a	10.50	c

<sup>z</sup>Medias dentro de columnas con letras iguales son iguales estadísticamente (Tukey,  $\alpha=0.05$ ). Cod= Código

## 3.8 DISCUSIÓN

### Pérdida de Biomasa fresca

Los factores mayor importancia en la postcosecha de flores de corte, es la conservación de turgencia, color y biomasa fresca, ya que en conjunto permitirán conservar una vida en florero adecuada: sin embargo, una vez que han sido retirados de su entorno natural comienza con el catabolismo y muerte de los tallos.

Una de las principales metas para los biólogos y fisiólogos postcosecha es prevenir o retrasar la madurez y senescencia de productos a través del control de los sitios de acción y producción de etileno (Theologis *et al.*, 1993). Aun cuando se ha logrado impedir la síntesis de etileno o su acción y la disminución de la sensibilidad por mejoramiento genético (Gray *et al.*, 1993; Murray *et al.*, 1993c), no se ha solucionado el problema de la pérdida de agua que se reflejada en la pérdida de biomasa fresca.

La pérdida de biomasa causa deficiencias en el estado hídrico, la turgencia y el marchitamiento. Las deficiencias de agua inducen cambios hormonales pudiendo causar una mayor producción de etileno y ácido abscísico, ocasionando la desintegración de la membrana y la liberación del contenido celular (Burg, 2004; Boyer, 1976). La pérdida de humedad es un fenómeno complejo, pues interactúan factores biológicos, mecánicos y físicos. El almacenamiento con aire acondicionado favorece la pérdida de humedad pues ocasiona la salida de agua desde el interior de la célula hacia la superficie expuesta donde se encuentra la cutícula; causando un cambio de estado del agua, de líquido a vapor debido al calor latente (Burg, 2004). Las diferencias en el gradiente de presión de vapor entre el producto y el aire circundante a él ocasionan pérdida de agua dado que a mayor déficit de presión de vapor, mayor es la pérdida de humedad.

En este experimento, las condiciones que favorecieron la conservación de biomasa fresca fueron temperaturas entre los 12 y 15 °C, existiendo un rango de 3 °C para un almacenamiento que implicó en la menor pérdida de peso, en contraste a Costa *et al*, (2011a); quienes evaluaron tres temperaturas de almacenamiento: 12, 19 y 25 °C en *Heliconia bihai* (L.) cv. Lobster Claw, identificando como la más favorable a 19 °C, tallos almacenados a 12 °C presentaron daños por frío al cuarto día de almacenaje, contrario a los fueron expuestos a 25 °C, quienes presentaron un aceleramiento de la senescencia. Sin embargo, las inflorescencias de *H. bihai* presentan entre 30 y 55 cm de longitud, mientras que *H. psittacorum* no supera los 20 cm (Kress y Echeverry, 1999), existiendo gran variabilidad fenotípica y probablemente, diferentes respuestas fisiológicas.

Para el caso de la H.R., los mejores tratamientos resultaron en rangos de 60 a 90 %, esto difiere con las recomendaciones para *H. psittacorum* donde sugieren rangos de H.R. entre 90 y 95 % (Anon, 1991; Donselman y Broschat, 1983). Bajos niveles de luz parecen preservar la conservación de biomasa, en este caso, resultaron en rangos de 0 a 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Al inicio de la senescencia puede o no existir un ligero aumento de peso en los primeros días desde la recolección (dependiendo de la especie), posteriormente éste desciende de forma muy acusada, coincidiendo con el aumento de etileno (Woodson y Lawton, 1988).

### **Cambios en coloración de las brácteas**

La luminosidad ( $L^*$ ) disminuyó hasta las tonalidades oscuras (ennegrecimiento de brácteas florales), T2 correspondientes ocasionó la disminución mayor de la luminosidad (51.4); el resto de condiciones perdieron entre 8.7 y 19.8 puntos. Esta tendencia fue similar al eje  $a^*$ , T2 perdió 35.8 puntos, seguido de T1 y T4. Estos últimos corresponden a rangos de temperatura entre 14 y 18 °C, con H.R. entre 70 y 80% e intensidad luminosa de 82 a 103  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Los resultados

correspondientes al eje  $b^*$  fueron similares a  $L^*$ , T2 tuvo la disminución mayor de la coloración amarilla, perdiendo 36.7 puntos.

Estudios realizados en la variedad Golden Wave demostraron que la temperatura y luz afectan la pigmentación y coloración de los pétalos de rosa, al conservar las flores a menos de 15°C, no existió una conversión adecuada de cloroplastos a cromoplastos en los pétalos (Halevy y Mayak, 1974b; Lahav y Halevy, 1969), cuando fueron expuestas a más de 15°C por 7 horas diarias durante 3 días, existió una disminución significativa de antocianinas y carotenoides (Biran y Halevy, 1974a, b). Se sugiere que al reducir drásticamente las temperaturas, se da un aumento en ambos pigmentos. Estos cambios pueden deberse a la disponibilidad de carbohidratos en las flores (Halevy y Zieslin, 1969; Zieslin y Halevy, 1969; Biran y Halevy, 1974a).

La disminución de la coloración en este experimento pudo deberse a la disminución de reservas de carbohidratos causada por procesos de degradación y desorganización celular (Davies y Schwinn, 2006). En heliconias los pigmentos encargados de aportar la coloración a las inflorescencias son antocianinas y carotenos, los primeros son encargados de los tonos rojos y los segundos aportan tonalidades amarillo-anaranjadas; son producidos en cromoplastos. Las antocianinas se encuentran en células epidermales mientras que los carotenoides en subepidérmicamente (Davies y Schwinn, 2006). Los cambios de pigmentación, también pueden ocurrir por cambios de pH intracelular, temperatura, estrés hídrico, o calidad y cantidad de luz. La luz determina los cambios de pigmentación, puesto que ésta se capta en los centros de reacción para la producción de pigmentos (Meng y Wang, 2004)

## **Clorofila**

La condición que propició una mayor degradación de clorofilas fueron 26°C, 37% H.R. y  $9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  de intensidad lumínica (T2), seguida por T1 y T6. El resto de tratamientos no presentaron diferencias estadísticas. La pérdida para T2 resultó

más drástica dado que al inicio tuvo la mayor cantidad de unidades SPAD (55.8 unidades) y al finalizó en 13.4 unidades SPAD después de 10 d de almacenamiento.. Este comportamiento pudo deberse a la temperatura alta y niveles bajos de luz pudiendo desencadenar el deterioro de estos pigmentos fotosintéticos.

Los cloroplastos son convertidos a gerontoplastos cuando comienzan las señales de senescencia, este plastidio tiene un metabolismo exclusivamente catabólico; persisten y se mantienen intactos a través de la senescencia foliar, luego pierden volumen y densidad como consecuencia de pérdidas extensivas de componentes estromales y de tilacoides, e incrementa el número y tamaño de plastoglóbulos lipofílicos (Matile *et al*, 1999; Thomas *et al*, 2003).

La degradación de clorofilas puede llevarse a cabo por diversos procesos: a) defitilación por acción de clorofilasas con localización vacuolar; b) decoloración oxidativa por la presencia de peroxidasas y altas concentraciones de peróxido de hidrógeno en la vacuola; c) pérdida no enzimática del  $Mg^{2+}$  por el bajo pH presente en la vacuola (Guiamét *et al*, 1999).

El síntoma principal de la senescencia foliar es la pérdida gradual de color verde de las hojas provocado por la degradación de la clorofila. Este proceso comprende dos etapas: la primera incluye modificaciones a la cadena lateral del macrociclo, la hidrólisis del residuo de fitol (defitilación), liberación de  $Mg^{2+}$  del tetrapirrol mediante desplazamiento con  $2H^+$  y algunas otras modificaciones al macrociclo que varían entre especies. La segunda etapa es esencial para la pérdida del color verde en hojas durante la senescencia.

La enzima encargada de la eliminación de fitol de la molécula de clorofila es la clorofilasa, que es una proteína hidrofóbica glicosilada asociada a las membranas del cloroplasto y otros organelos, se caracteriza por su latencia funcional. Esta enzima cataliza la hidrólisis del enlace éster entre la clorofila y el fitol (primer paso del catabolismo de la clorofila). Los productos de la reacción son fitol y clorofíldo (Benedetti y Arruda, 2002; Matile *et al*, 1999; Takamiya *et al*, 2000).

La pérdida del magnesio ocurre luego de la defitilación, para dar como resultado feofórbido *a* y  $Mg^{2+}$  y la producción de la enzima Mg-dequelatasa. Se sugieren que la liberación de  $Mg^{2+}$  es un paso necesario e importante en el catabolismo de la clorofila (Costa, 2005; Matile *et al*, 1999; Takamiya *et al*, 2000). Otra posible ruta alternativa de degradación es la formación de feofitinas, son derivados fitilados de la clorofila sin el  $Mg^{2+}$ , con lo que se mantienen liposolubles pero de coloración amarilla (Amir, *et al.*, 1987; Costa, 2005).

La segunda etapa de degradación de clorofilas ocurre por la ruptura del anillo macrocíclico, el producto de esta reacción son catabolitos rojos de clorofila o RCC (por "*red chlorophyll catabolites*"). La expresión de esta monooxigenasa requiere la presencia de ferredoxina reducida y NADPH y ambos compuestos se hallan presentes en el gerontoplasto, pero no en tejido presenescente. Esto indica que la actividad de feofórbido *a* oxigenasa es crucial para esta ruta catabólica, ya que su actividad sólo se detecta durante la senescencia (Hörtensteiner, 1999; Pruzinska *et al*, 2003; Takamiya *et al*, 2000).

Acoplada a la reducción de la oxigenasa que abre el anillo, se encuentra la reacción catalizada por la enzima RCC reductasa, la cual reduce el puente metino del catabolito rojo de clorofila (Takamiya *et al*, 2000; Wüthrich *et al*, 2000).

## **Transpiración**

La transpiración tuvo grandes fluctuaciones en los primeros cuatro d. Sin embargo, las diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) únicamente se presentaron durante los días 2 y 10. En el día 2, el único tratamiento que resultó en la transpiración menor fue T1. La transpiración está influenciada por diversos factores, el principal es la apertura estomatal, regida bajo los cambios de luminosidad y temperatura. La transpiración depende de la diferencia de presión del vapor de agua entre el interior de las hojas y en la atmosfera. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será la transpiración y por consiguiente la pérdida de agua y materia fresca en el caso de flores de corte. Al inicio T1 mostró la transpiración menor, aunque los

tallos fueron almacenados a 18 °C se compensó con un porcentaje alto de H.R. (80 %). En este caso, la luz no influyó en el resultado, ya que se utilizó una intensidad media ( $82 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), por lo que la temperatura fue compensada con el alto porcentaje de H.R. usado. Sin embargo, después de 10 d T3, T5 y T7 presentaron la transpiración menor, en este caso, la luz parece haber tenido un papel preponderante dado que se utilizaron valores en una escala de 0, 26 y  $150 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

La transpiración está fuertemente ligada al proceso de absorción de agua, así como el establecimiento de un mecanismo negativo de retroalimentación ocasionado por altos déficits de presión de vapor atmosféricos; por lo que los cambios en la intensidad de transpiración o absorción pueden afectarse uno al otro. Las hojas juegan un rol importante en la transpiración, debido a la cantidad de estomas y su papel como reguladores de la transpiración y por ende, del estado hídrico de las plantas, controlados a través de la energía solar (Pizano, 1997).

Estudios realizados por Paulín (1997) en *Rosa* sp. demostraron que la luz en periodos constantes o alternos puede influir sobre la pérdida de agua en hojas, dado que altera los movimientos de los estomas, causando una pérdida de agua cinco veces mayor que aquellos tallos que fueron mantenidos bajo oscuridad. Estos resultados concuerdan con este estudio, ya que después de 10 d de almacenamiento los tallos que fueron almacenados en total oscuridad presentaron menor transpiración (T3 y T5).

### **Contenido relativo de agua (CRA)**

La justificación de la determinación del CRA en la zona basal y distal del escapo floral fue para comprender mejor la relación del transporte hídrico entre estas dos áreas del tallo. Respecto a la base del escapo floral, existieron diferencias significativas en los días 6 y 10, en ambos días T1 tuvo mayores deficiencias

hídricas, resultado interesante pues al inicio del estudio fue el que mostró la transpiración menor.

La zona distal del escapo también presentó diferencias durante los días 6, 8 y 10; T2 mostró el CRA menor en los días 6 y 8. Después de 10, T1 y T2 presentaron las deficiencias mayores. Los primeros 4 d la tendencia fue similar en todos los tratamientos con excepción de T2. Este comportamiento puede deberse a la relación entre el CRA y la transpiración, puesto que a mayores temperaturas, existe mayor transpiración y las relaciones hídricas se modifican, alterando el metabolismo general de la planta.

Estudios realizados por Paulín (1997), comprueban que la concentración de solutos en los tejidos es otro factor determinante en las relaciones hídricas. Durante la senescencia de *Dianthus caryophyllus* ocurrió una disminución gradual en la presión osmótica, en *Gerbera jamesonii* el potencial osmótico de los pétalos aumentó durante los primeros seis días de florero, para luego disminuir. El mismo autor indica que mientras las flores no se separen de la planta, el potencial osmótico permanece intacto durante los primeros días, y luego disminuye en forma gradual (Juárez-Lopez *et al.*, 2011).

Por su parte, Evans *et al.*, (1996), mencionaron que la causa principal de una corta vida de florero en rosas es una falla en las relaciones hídricas, cuando la pérdida de agua de las hojas es mayor que su reabastecimiento a través del tallo. Según Van-Meeteren (2001), los factores relacionados con el desbalance hídrico del rosal, como en la mayoría de las flores de corte; son una alta transpiración o la limitada absorción de agua (Van Der Molen *et al.*, 1983). Otra explicación para una ineficiente absorción de agua es la presencia de embolismos o agentes bacterianos (Van-Meeteren *et al.*, 2006; Li-Jen Liao, 2001).

La herida causada por el corte puede afectar la absorción de agua, ya que se desencadena la actividad de enzimas como la polifenol oxidasa, peroxidasa y fenilalanina amoniliasa, causando obstrucción de células parenquimatosas del xilema adyacentes a los vasos del xilema dañado, afectando la absorción.

Lo anterior puede explicar la tendencia seguida por los tratamientos T1 y T2 durante los últimos días del experimento, dados que dichos tratamientos corresponden a las temperaturas más elevadas, pudiendo haber propiciado el crecimiento bacteriano del agua y como consecuencia, la obstrucción del xilema de los tallos florales.

### **Daño en membranas**

Al final del almacenaje, las condiciones que resultaron en un menor daño en la estructura celular fueron rangos de temperatura entre 14 y 16 °C, con H.R. entre 70 y 60 % y luz entre 103 a 150  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , presentaron un índice de daño de 50.7 y 43.2 %, (T4 y T6 respectivamente),

El resto de tratamientos ocasionaron índice de daño entre el 52.9 al 83.1 %. El daño pudo deberse a diversos factores, tanto pre como postcosecha. Una de las causas para potenciar el daño son las deficiencias de calcio, ya que se ha documentado que especies crecidas bajo altos porcentajes de H.R., generalmente de origen tropical; presentan bajas concentraciones de este elemento, presentando menor vida de florero (Torre *et al.*, 1999). *H. psittacorum* es de origen tropical.

Son necesarias bajas concentraciones de calcio en tejidos con baja transpiración como frutos carnosos, flores de corte y tubérculos, para permitir una rápida expansión celular y elevada permeabilidad en membranas celulares. Sin embargo, se incrementa el riesgo de que su contenido disminuya por debajo del nivel crítico requerido para la estabilización de la pared celular y la integridad de la membrana y su posible función como mensajero secundario (Taiz y Zeiger, 2006). A su vez, existen evidencias que apoyan la idea de que los niveles de calcio en los tejidos de la planta pueden afectar el proceso de senescencia (Poovaiah *et al.*, 1988). Los cambios fisiológicos y bioquímicos de la senescencia están controlados genéticamente; sin embargo, existe evidencia que supone la participación del calcio en este proceso. Su función estaría ligada al mantenimiento estructural de

algunas moléculas de la membrana celular, a través de uniones con moléculas cargadas negativamente como los fosfolípidos y proteínas de membrana, que mantienen la célula funcional (Roux y Slocum, 1982).

Se ha reportado que el calcio retrasa la descomposición de moléculas en el proceso senescente (Itzhaki et al., 1998; Torre et al., 1999). Borochoy *et al.*, (1982) reportaron que en la senescencia de pétalos de rosa disminuye la fluidez de las membranas celulares, debido a una pérdida de los fosfolípidos y a la disminución en su síntesis (Verlinden, 2006). La pérdida en el contenido de estas moléculas resulta en la disminución en la integridad de la membrana.

El calcio protege la integridad de las membranas celulares, reduciendo su permeabilidad y previniendo la liberación de iones causados por el estrés (Grattan y Grieve, 1999). El calcio se encuentra involucrado en los mecanismos regulatorios que le permiten a la planta realizar ajustes bajo condiciones de estrés, como temperatura alta, daño por frío, estrés hídrico y salino y el mismo corte realizado en flores de ornato (Liang et al., 2009).

Lo anterior ha conducido a relacionar la deficiencias de este elemento en los tejidos de la planta con la aparición de desórdenes fisiológicos o con la aceleración del proceso de senescencia; especialmente en tejidos y órganos que presentan baja transpiración como flores, frutos y bulbos (Martyn et al., 2007).

La mayoría de cambios bioquímicos y fisiológicos ocurridos por la senescencia se relacionan con las membranas y sus constituyentes. Existen reportes del decremento del contenido proteico del plasmalema en *Rosa* sp. y *Petunia* sp. (Borochoy *et al.*, 1994, 1997; Itzhaki *et al.*, 1990), los cambios en la membrana se han asociado con la disminución de fosfolípidos, fluidez y la proporción de lípidos saturados a insaturados (Suttle y Kende, 1980; Itzhaki *et al.*, 1990; Leverentz *et al.*, 2002). A su vez, los niveles de esteroides no tienen cambios significativos durante el desarrollo floral; sin embargo, debido a los cambios relacionados con la senescencia, los esteroides aumentan en relación a los fosfolípidos (Itzhaki *et al.*, 1990), este desequilibrio ocasiona la disminución de fluidez a través de los tejidos

(Thompson *et al.*, 1982). Se sugiere que esta disminución conduce a un mal funcionamiento de la membrana y la consecuente fuga de iones y la subsecuente muerte de los tejidos.

Otros factores que pudiesen influir en la disminución de la fluidez en las membranas así como en el incremento de lípidos saturados se explican debido a la peroxidación de lípidos (Fobel *et al.*, 1987; Paulin y Droillard, 1989). Las lipoxigenasas han sido relacionadas a los decrementos de la fluidez en membranas (Fobel *et al.*, 1987).

### **Peroxidasa (POX)**

Al inicio del estudio no existieron diferencias significativas en la producción de POX entre los tratamientos debido a que en ese tiempo los tallos presentaban el menor daño estructural, celular y bioquímico, por lo que las actividades metabólicas no habían sido afectadas drásticamente. Caso contrario al ocurrido después de 10 d. T5, T6 y T7, al parecer la luz no fue un factor determinante en esta variable, caso contrario a la temperatura. En contraste, T2 propició un daño y estrés mayores. El resto de los tratamientos, tuvieron un estrés medio.

Este comportamiento se debe al proceso senescente, pues existe una reducción de carbohidratos, proteínas, ácidos nucleicos, pérdida de clorofila, así como un aumento de peptidasas (Breeze *et al.*, 2004). Estos cambios producen estrés al interior de las células, con resultados exteriores visibles. Estos cambios pueden originarse por la susceptibilidad de especies reactivas al oxígeno (ERO's), como: oxígeno en estado singulete ( $^1O_2$ ), superóxido ( $O_2^-$ ), radicales hidroxilo ( $OH^-$ ) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), que en cantidades excesivas promueven condiciones de estrés oxidativo, dando como resultado la muerte celular (Finkel y Holbrook, 2000; Scandalios, 2005).

El estrés oxidativo promueve el estado de oxidación de la célula, induciendo un incremento en la síntesis de antioxidantes enzimáticos (Vitamina C y E, carotenoides) como no enzimáticos (peroxidasa, catalasa, ascorbato peroxidasa,

etc.), con los cuales la célula intenta controlar los mecanismos de defensa y disminuir los daños oxidativos con el fin de retardar la senescencia (Foyer *et al.*, 1997; Scandalios, 2005; Finkel y Holbrook, 2000; Trujillo *et al.*, 2006).

En este estudio los resultados más desfavorables ocurrieron a altas temperaturas, pudiendo ocasionar degradación de pigmentos protectores como los carotenoides. Al ya no existir la síntesis de antioxidantes no enzimáticos, se promueve el incremento de antioxidantes enzimáticos, como las POX's, cuando existe un aumento de éstas hay indicios de que los componentes celulares se encuentran bajo un intenso estrés oxidativo, como los tallos correspondientes a T2.

Las ERO's a bajas concentraciones interactúan como moléculas señales; sin embargo, a cantidades mayores son altamente tóxicas para la célula (Doke *et al.*, 1996). Las POX's, actúan específicamente en la eliminación de estos compuestos. Otras funciones en las que pueden estar involucradas, es en el reforzamiento de la pared celular por la deposición de lignina y suberina, la acumulación de polifenoles, o el entrecruzamiento de las proteínas de la pared (Pozo, 1999; Quiroga *et al.*, 2000).

Los daños causados por estrés oxidativo resultan en apoptosis celular, incluyendo organelos como lisosomas, núcleo, retículo endoplásmico, aparato de Golgi y mitocondrias. Varios procesos degradativos son activados en el retículo endoplásmico, causando la activación de caspasas en cascada, promoviendo la inducción de la permeabilidad de la membrana mitocondrial, causando desabasto energético que conduce a la muerte celular.

### 3.9 CONCLUSIONES

Las condiciones que favorecieron la preservación en calidad de las inflorescencias de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica fueron temperaturas entre 12 y 16 °C con humedades relativas entre el 63 y 90 % y niveles mínimos de luz no superando los  $26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; correspondientes a los tratamientos T5 y T7.

Estas condiciones evitaron la pérdida de biomasa fresca, así como los cambios de coloración rojo- amarillo de las variables  $a^*$  y  $b^*$ ; propiciaron el medio adecuado para evitar pérdidas excesivas de agua al minimizar la transpiración, permitiendo un estado hídrico mejor a los tallos expuestos a estas condiciones, ya que el contenido relativo de agua para la zona apical del escapo fue mayor al resto de los tratamientos.

Uno de los puntos con mayor trascendencia fue la preservación de la integridad celular. Estos tratamientos presentaron los índices de daño en membranas menores, manteniendo la organización celular por tiempo mayor y retrasando el proceso senescente.

Indiscutiblemente, las condiciones que promovieron procesos catabólicos y senescentes prematuros, mermando la calidad de las inflorescencias fueron las pertenecientes al tratamiento T2, donde se utilizaron 26 °C, más 37 % H.R. y luz correspondiente a  $9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

### 3.10 LITERATURA CITADA

- Anonymous. 1991. Care of tropicals. *The Florida Review* 182(5):35-38.
- Amir, D.; Goldschmidt, E.; Altman, A. 1987. Chlorophyll catabolism in senescing plant tissues: *In vivo* breakdown intermediates suggest different degradative pathways for Citrus fruit and parsley leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 84:1901-1905.
- Barbosa, S.D.; Ribero, C.I.; Campos, P.L.; Oestreicher, G.E.; Beresuk, M.E.; Cardozo, F.L. 2010. Peroxidase activity in *Spondias dulcis*. *Acta Scientiarum Technology* 32(4):341-345.
- Benedetti, C.; Arruda, P. 2002. Altering the expression of the Chlorophyllase gene *ATHCOR1* in transgenic *Arabidopsis* caused changes in the chlorophyll-to-chlorophyllide ratio. *Plant Physiology* 128:1255-1263.
- Biran, I.; Halevy, H. 1974a. Effects of varying light intensities and temperature treatments applied to whole plants, or locally to leaves or flower buds, on growth and pigmentation of "Baccara" rose flowers. *Physiologia Plantarum* 31:175-179.
- Biran, I.; Halevy, H. 1974b. Effects of short term heat and shade treatments on petal colour of "Baccara" roses. *Physiologia Plantarum* 31:180-185.
- Borochoy, A.; Halevy, A.H.; Shinitzky, M. 1982. Senescence and the fluidity of rose petal membranes: Relationship to phospholipids metabolism. *Plant Physiology* 69:296-299.
- Borochoy, A.; Cho, M.H.; Boss, W.F. 1994. Plasma membrane lipid metabolism of petunia petals during senescence. *Physiologia Plantarum* 90:279-284.
- Borochoy, A.; Spiegelstein, H.; Philosoph, H.S. 1997. Ethylene and flower petal senescence: interrelationship with the membrane lipid catabolism. *Physiologia Plantarum* 100:606-612.

- Boyer, J.S. 1976. Water deficits and photosynthesis. En: Kozlowski, T.T. (ed.) Deficits and plant growth, vol. 4. Academic Press, New York. Pp. 153-190.
- Brandford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:246-254.
- Breeze, E.; Wagstaff, C.; Harrison, E.; Branke, I.; Rogers, H.; Stead, A.; Thomas, B.; Buchanan, V. 2004. Gene expression patterns to define stages of postharvest senescence in *Alstroemeria* petals. *Plant Biotechnology Journal* 2(2):155-168.
- Burg, S.P. 2004. Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce. CABI Publishing, 1er. Ed. United Kingdom. 672 p.
- Chaman, M.M. 2007. Variaciones en el contenido relativo de agua y la concentración de prolina en *Capsicum annuum* L. inducido por NaCl. *Arnaldoa* 14(2):250-258.
- Costa, A.S.; Nogueira, L.C.; Dos Santos, V.F.; Finger, F.L.; Camara, T.R.; Loges, V.; Willadino, L. 2011. Storage of cut *Heliconia bihai* (L.) cv. Lobster Claw flowers at low temperatures. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15(9):966-972.
- Costa, M. 2005. Análisis de la senescencia postcosecha de brócoli. Efecto de la aplicación de tratamientos físicos. Tesis doctoral UNLP. Buenos Aires, Argentina. Pp 204.
- Davies, K.; Schwinn, K. 2006. Developmental control and biotechnology of floral pigmentation. En: Jordan, B.R. (Ed). *The molecular biology and biotechnology of flowering*. 2da. Ed. CABI Publishing Pp. 178-236.
- Doke, N.; Miura, Y.; Sánchez, L.M.; Park, H.J.; Toritake, T.; Yoshioka, H.; Kawakita, K. 1996. The oxidative burst protects plants against pathogen attack: Mechanism and role as an emergency signal for plant bio-defense. *Gene* 179:45-51.

- Donselman, H.; Broschat, T.K. 1986. Abstract: Production of *Heliconia psittacorum* for cut flowers in South Florida. Bulletin Heliconia Society International 1(4):4-6.
- Evans R.Y.; Zheng, J.; Reid M.S. 1996. Structural and environmental factors affecting the postharvest life of cut roses. Acta Horticulturae 424:169-174.
- Fatibello, O.; Vieira, I.C. 2002. Uso analítico de tecidos e de extractos brutos vegetais como fonte enzimática. Química Nova 25:455-464.
- Finkel, T.; Holbrook, N.J. 2000. Oxidants, oxidative stress and the biology of *Ageing*. Nature 408(6809):239-247.
- Fobel, M.; Lynch, D.V.; Thompson, J.E. 1987. Membrane deterioration in senescing carnations flowers. Plant Physiology 85:204-211.
- Foyer, C.H.; López, D.H.; Dat. J.F.; Scott, I.M. 1997. Hydrogen peroxide and glutathione-associated mechanisms of acclamatory stress tolerance and signaling. Plant Physiology 100(22):241-254.
- Grattan. S.; Grieve, C. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. Scientia Horticulturae 78: 127-157.
- Gray, J.E.; Picton, S.; Fray, R.; Hamilton, A.J.; Smith, H.; Barton, S.; Grierson, D. 1993. Altered gene expression, leaf senescence, and fruit ripening by inhibiting ethylene synthesis with EFE-antisense gene. En: Pech, J.C.; Latché, A.; Balagué, C. (eds) Cellular and molecular aspects of the plant hormone ethylene. Kluwer Academic, Dordrecht. Pp.82-89.
- Guiamét, J.; Pichersky, E.; Noodén, L. 1999. Mass exodus from senescing soybean chloroplast. Plant and Cell Physiology 40(9):986-992.
- Halevy, A.H.; Mayak, S. 1974b. Improvement of cut flower quality opening and longevity by pre-shipment treatments. Acta Horticulturae 43:335-347.
- Halevy, A.H.; Zieslin, N. 1969. The development and causes of petal blackening and malformation of Baccara rose flowers. Acta Hort. 15:149-156.

- Hoelt R.G.; Peck T.R. 2002. Illinois Agronomy Handbook. Chapter 11. University of Illinois. USA.
- Hörtensteiner, S. 1999. Chlorophyll breakdown in higher plants and algae. Cellular and Molecular Life Sciences 56:330-347.
- Inskeep P., W.; Bloom, R. P. 1985. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% acetone. Plant Physiology 77:483-485.
- Itzhaki, H.; Borochoy, A.; Mayak, S. 1990. Age-related changes in petal membranes from attached and detached rose flowers. Plant Physiology 94:1233-1236.
- Itzhaki, H.; Naveh L.; Lindahl M.; Cook M.; Adam Z. 1998 Identification and characterization of DegP, a serine protease associated with the luminal side of the thylakoid membrane. Journal of Biological Chemistry 273:7094–7098.
- Juárez, P.; Sandoval, M.; González, V.; Colinas, M.T. 2001. Comportamiento Fisiológico Postcosecha de tallos florales de rosa (*Rosa hybrida* L.) en respuesta al fósforo aplicado en precosecha. Revista Biociencias. 1(2)3-16.
- Kochevar, E.I. 2004. Apoptosis mechanisms initiated by oxidative stress. En Jay, F.H.; Fukuto, J.; Torres, M. (Ed.). Signal transduction by reactive oxygen and nitrogen species. Pathways and chemical principles. 2da. Ed. Kluwer Academic Publishers. Pp. 365-378.
- Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Edutex S.A. México. 538p.
- Lahav, L.; Halevy, A.H. 1969. Factors affecting color deformations in “Dr. Verhage” and “Carol” roses. Annu. Rpt. Dept. Orn. Hort. Hebrew Univ. for 1968-69 (Hebrew). Pp. 18-23. Rehovot.
- Leverentz, M.K.; Wagstaff, C.; Rogers, H.J.; Stead. A.D. Chanasut, U.; Silkowski, H.; Thomas B.; Weichert, H.; Feussner, I. Griffiths, G. 2002. Characterization of a novel lipoxygenase-independent senescence mechanism in *Alstroemeria peruviana* floral tissue. Plant Physiology 130:273-283.

- Liang, W.; Wang, M.; Ai, X. 2009. The role of calcium in regulating photosynthesis and related physiological indexes of cucumber seedlings under low light intensity and suboptimal temperature stress. *Scientia Horticulturae* 123: 34-38.
- Li-Jen, L.; Yu-Han, L.; Kuang-Liang, H.; Wen-Shaw, C. 2001. Vase life of *Eustoma grandiflorum* as affected by aluminium sulfate. *Botanical Bulletin of Academia Sínica* 42:35-38.
- Matile, P.; Hörtensteiner, S.; Thomas, H.; 1999. Chlorophyll degradation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50:67-95.
- Martyn, A.; Thomas, C.; O'Neill, M.; Offord, C.; McConchie, R. 2007. Bract browning in waratahs (*Telopea* spp.) is not a localized calcium deficiency disorder *Scientia Horticulturae* 112: 434-438.
- Meng, X.; Wang, X. 2004. Regulation of flowers development and anthocyanin accumulation in *Gerbera hybrida*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 79:131-137.
- Murray, A.J.; Honson, G.E.; Schuch, W.; Bird, C.R. 1993. Expression of EFE antisense RNA in tomato causes retardation of leaf senescence and most fruit ripening characteristics. En: Pech, J.C.; Latché, A.; Balagué, C. (eds) *Cellular and molecular aspects of the plant hormone ethylene*. Kluwer Academic, Dordrecht. Pp.327-328.
- Paulin, A.; Droillard, M.J. 1989. Membrane lipids peroxidation during the senescence of cut carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *Acta Horticulturae* 261:51-57.
- Paulín A. 1997. Poscosecha de las flores cortadas. Bases fisiológicas. 2da. Ed. Bogotá, Colombia. Hortitecnia. 100-121.
- Pizano, M. 1997. Floricultura y medio ambiente, la experiencia de Colombia, Bogotá. Hortitecnia. Pp. 107-137.
- Poovaiah, B.W.; Glenn, G.M.; Reddy, A.S. 1988. Calcium and fruit softening: Physiology and biochemistry. *Horticulture Review* 10: 107-152.

- Pozo, M.J. 1999. Inducción de enzimas hidrolíticas en raíces de tomate (*Lycopersicon esculentum*) como respuesta a la formación de MA y su implicación en el control biológico de *Phytophthora parasítica*. Tesis de doctorado. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias.
- Prášil, I.; Zámeènik, J. 1998. The use of a conductivity measurement method for assessing freezing injury. Influence of leakage time. Segment number, size and shape in a sample on evaluation of the degree of injury. *Environmental and Experimental Botany* 40:1-10.
- Pruzinska, A.; Tanner, G.; Anders, I.; Roca, M.; Hörtensteiner, S. 2003. Chlorophyll breakdown: pheophorbide a oxygenase is a rieske-type iron-sulfur protein, encoded by the accelerated cell death 1 gene. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*. 100(25):15259-15264.
- Quiroga, M.; Guerrero, C.; Botella, M.A.; Barcelo, A.; Amaya, I.; Medina, M.I.; Alonso, J. 2000. A tomato peroxidase involved in the synthesis of lignin and suberin. *Plant Physiology* 122(4):1119-1127.
- Roux S.J.; Slocum R.D. 1982. Role of calcium in mediating celular functions important for growth and development in higher plants. En: Cheung WY, ed. *Calcium and cell function*. Volume 3. New York: Academic Press, 409-453.
- Sánchez, A.B.; Peña, V. C.; Aguirre, R. R.; Trejo, C.; Cárdenas, E. 2004. Efectos del potencial de agua en crecimiento radical de plántulas de *Agave Salmiana* Otto Ex Salm-Dyck. *Interciencia* 29:626-631.
- SAS. 2002. *Statistical Analysis System* SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Scandalios, J.G. 2005. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 38(7):995-1014.
- Suttle, J.C.; Kende, H. 1980. Ethylene action and loss of membrane integrity during petal senescence in *Tradescantia*. *Plant Physiology* 65:1067-1072.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Third Edition, Sinanuer Associate, Inc. Unite State of America. 690 p.

- Takamiya, K.; Tsuchiya, T.; Ohta, H. 2000. Degradation pathway(s) of chlorophyll: what has gene cloning revealed? *Trends in Plant Science* 10(5):426-431.
- Theologis, A.; Oeller, P.W.; Min-Wong, L. 1993. Modifying fruit ripening by suppressing gene expression. En: Pech, J.C.; Latché, A.; Balagué, C. (eds) *Cellular and molecular aspects of the plant hormone ethylene*. Kluwer Academic, Dordrecht. Pp.19-23.
- Thomas, H.; Ougham, H.; Wagstaff, C.; Stead, A. 2003. Defining senescence and death. *Journal of Experimental Botany*. 54(385):1127-1132.
- Thompson, J.E.; Mayak, S.; Shinitzky, M.; Halevy, A.H. 1982. Acceleration of membrane senescence in cut carnations flowers by treatment with ethylene. *Plant Physiology* 133:361-363.
- Torre, S.A.; Borochoy, A.; Halevy, A.H. 1999. Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiologia Plantarum* 107:214-219.
- Trujillo, V.B.; Zavaleta, M.H.; Mora, H.M.; López, D.H. 2006. Efecto del CaCl<sub>2</sub> sobre la actividad enzimática antioxidante durante la vida florero de gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolux Ex Hook F.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2)203-209.
- Verlinden, S. 2006. Flower senescence. En: Jordan, B.R. (Ed). *The molecular biology and biotechnology of flowering*. 2da. Ed. CABI Publising. Pp. 150-177.
- Van-Meeteren U.; Van-Leperen, W.; Nijse, J.; Keijzer, K.; Scheenen, T.; Van-As, H. 2001. Processes and xylem anatomical properties involved in rehydration dynamics of cut flowers. *Acta Horticulturae* 543:199-205.
- Van-Meeteren U.; Arévalo, L.; Van Doorn, W. 2006. Inhibition of water uptake alter harvesting cut flowers role of air emboli and wound-induced processes in in chrysanthemum. *Postharvest Biology and Technology* 41:70-77.
- Woodson, W.R.; Lawton, K.A. 1988. Ethylene-induced gene expression in carnation petals. Relationship to autocatalytic ethylene production and senescence. *Plant Physiology* 87:498-503.

Wüthrich, K.; Bovet, L.; Hunziker, P.; Donnison, I.; Hörtensteiner, S. 2000. Molecular cloning, functional expression and characterization of RCC reductase involved in chlorophyll catabolism. *The Plant Journal* 21(2):189-198.

Zieslin, N.; Halevy, A.H. 1969. Petal blackening in "Baccara" roses. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 94:629-631.

### **Fuentes electrónicas**

Flora Holland. Disponible en <http://www.floraholland.com/EN/BUYING/Pages/default.aspx> Consultado el 13/09/2011.

Google Earth. Disponible en <http://www.google.es/intl/es/earth/index.html>. Consultado el 27/10/2011.

[http://gusgsm.com/espacio\\_color\\_cie\\_lab](http://gusgsm.com/espacio_color_cie_lab) (Consultado el 26/01/2012).

ONU, Comtrade database, 2011. Disponible en: <http://www.unctad.org/es/paginas/Statistics.aspx>. Consultado el 19/12/2011.

## CAPÍTULO IV. ACTIVIDADES METABÓLICAS QUE PROPICIAN LA SENESCENCIA EN TALLOS FLORALES DE *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

### 4.1 RESUMEN

En los últimos años el sector florícola del país ha introducido especies novedosas con importancia económica y comercial como los es *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la respiración, etileno y la presencia de hojas sobre la calidad de los tallos en el almacenamiento con la premisa de que estos factores en combinación determinan la conservación de la calidad. Se utilizaron tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica de una plantación comercial en Campo Chico; Iztaczoquitlán, Ver., fueron colocados 10 días en cámaras de ambiente controlado. En base a los resultados obtenidos del estudio de condiciones adecuadas para almacenamiento, se establecieron cuatro tratamientos: T1= 15°C-63 % H.R.- 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - sin hojas, T2= 15°C-63 % H.R.- 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - con hojas, T3= 12°C-90% H.R.- 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - sin hojas y T4= 12°C-90% H.R.- 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - con hojas y se cuantificó el CO<sub>2</sub> y C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> desprendido de los tallos. Se utilizó un diseño experimental de medidas repetidas, donde cada tallo floral fue considerado como una unidad experimental y cada tratamiento estuvo formado por tres repeticiones. El análisis de resultados incluyó pruebas de *t* con  $\alpha=0.05$ . La combinación correspondiente a 15°C, 63% H.R. y 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  en los tallos tanto con hojas (T2) y sin éstas (T1), así como 12°C, 90% H.R. y 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  sin hojas (T3) presentaron diferencias significativas en la conservación de calidad. No existieron diferencias significativas en la liberación de etileno. Estos tres tratamientos mantuvieron los tallos en mejor estado durante 10 d de almacenamiento a su vez, se deduce que esta especie puede ser insensible al etileno.

Palabras clave: Almacenamiento, etileno, *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica, hojas, intensidad respiratoria

## METABOLIC ACTIVITIES THAT PROMOTE SENESCENCE IN FLOWERING STEMS OF *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

### ABSTRACT

In recent years the flower sector in the country has introduced novel species with economic and commercial importance like *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica. The objective of this study was to evaluate the respiration, ethylene and the presence of leaves on the quality of the stems in the storage with the premise of which these factors in combination determine the conservation of the quality. Flowering stems tested were obtained from a commercial plantation in Campo Chico, Iztaczoquitlán, Veracruz, were placed 10 days in controlled environment chambers. Based on the results obtained from the study of conditions for storage, four treatments were established: : T1= 15°C-63 % R.H.- 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - leafless, T2= 15°C-63 % R.H.- 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - with leaves, T3= 12°C-90% R.H.- 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - leafless and T4= 12°C-90% R.H.- 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - with leaves and it was quantified the  $\text{CO}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  released by the stems. We used a repeated measures experimental design, each flower stem was considered an experimental unit and each treatment consisted of three replicates. The analysis of the results included test of  $t$  with  $\alpha = 0.05$ . The combination of conditions corresponding to 15°C, 63% H.R. y 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  in stems with leaves (T2) and leafless stems (T1), and 12°C, 90% H.R. y 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  on leafless stems (T3), presented significant differences in the preservation of quality. No significant differences in the ethylene. These three treatments helped to keep in better condition the stems during 10 d of storage, there is deduced that this species can be insensitive to the ethylene.

Keywords: Ethylene, *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica, leaves, respiratory rate, storage

## 4.2 INTRODUCCIÓN

La producción de flores está estrechamente relacionada con las condiciones climáticas y la rentabilidad económica. México, es considerado uno de los países con riquezas naturales mayores, por la diversidad que presenta en climas, suelos, orografía, flora, fauna, ecosistemas, etc. Estas ventajas se deben a la localización estratégica del país, pues se encuentra entre la zona tropical de América Central y la subtropical y templada de América del Norte, así como el accidentado relieve de sus montañas. Por las características anteriores, México tiene un amplio potencial para la producción floral, pudiendo ofrecer una gran variedad de productos.

La floricultura en nuestro país proviene desde tiempos prehispánicos. Su importancia proviene de la unión entre dioses, hombres y naturaleza. Actualmente, su papel principal es como ornato y ocupan un papel simbólico en la cultura, pues son usadas como obsequios en ocasiones especiales.

Entre las especies de mayor interés, se encuentra las heliconias; sin embargo, es escasa la información de manejo postcosecha. Uno de los indicadores para establecer la longevidad es la tasa respiratoria de los tallos florales, ya que se ha encontrado una relación entre ésta y la duración de vida en florero (Monteiro *et al*, 2001; Kader, 1985; Reid, 1985).

Durante la postcosecha de flores, frutos y vegetales se busca una respiración menor para evitar la generación de calor que pudiese condicionar la calidad del producto y disminuir la longevidad (Nagy *et al.*, 1972; Knutson, 1974; Seymour y Schultze, 1996). Se ha encontrado una estrecha relación entre la intensidad respiratoria y la liberación de etileno (Gómez, 1991). Esta fitohormona es de las más importantes, ya que está involucrada en la regulación de un gran número de procesos fisiológicos y de desarrollo (Abeles, *et al.*, 1992), y juega un rol importante en la apertura y senescencia floral de muchas especies (Reid y Wu, 1992; Woltering y van Doorn, 1988).

El objetivo de este trabajo fue determinar las tasas de respiración y liberación de etileno, así como definir el efecto que produce la ausencia o presencia de hojas en los tallos durante el almacenamiento de tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

La hipótesis fue que las condiciones adecuadas para almacenamiento (*i.e.* temperatura, humedad relativa y luz), así como la eliminación de hojas en tallos florales disminuyen la respiración y liberación de etileno, permitiendo así la preservación de la calidad en tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica

## 4.5 MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta etapa experimental, se utilizaron tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica con características similares a las mencionadas en el capítulo “Efecto de la temperatura, humedad relativa y luz sobre el almacenamiento de tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica.

### 4.5.1 Evaluación de la intensidad respiratoria (CO<sub>2</sub>)

Una vez determinadas las mejores condiciones para almacenamiento de tallos florales *Heliconia psittacorum* L. cv. Trópica se decidió utilizar los dos mejores tratamientos T5 (15°C-63% H.R.- 0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y T7 (12°C-90% H.R.- 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), con el fin de comparar las respuestas de los tallos florales a la presencia o ausencia de hojas, temperatura, humedad relativa y luz.

Se establecieron cuatro tratamientos en esta fase experimental (Figura 4.1).

Cuadro 4. 2. Tratamientos ensayados para determinar el efecto de la temperatura, H.R., luz y presencia de hojas sobre tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Temperatura (C°)	Humedad relativa (%)	Luz $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Hojas
T1	15	63 % H.R.	0	sin hojas
T2	15	63 % H.R.	0	con hojas
T3	12	90% H.R.	26	sin hojas
T4	12	90% H.R.	26	con hojas

La actividad respiratoria se determinó a través de la cuantificación de CO<sub>2</sub> liberado de los tallos, tomando muestras de aire circundante a éstos. Los tallos fueron colocados durante 1 h dentro de contenedores cilíndricos con el tamaño adecuado para no maltratar los tallos y con un volumen conocido (Figura 4.1). Transcurrido

dicho periodo, se extrajo una muestra de 5 ml con una jeringa desechable, posteriormente, la muestra fue reinyectada en tubos Vacoutainer® y congelada hasta el momento del análisis.



Figura 4. 1. Contenedores cilíndricos para la toma de muestra de etileno.

Para la cuantificación de  $\text{CO}_2$ , se tomó una muestra de 1 ml con un jeringa desechable para insulina y fue inyectada en un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 5890, serie II), equipado con una columna de tipo abierto, con empaque de capa porosa de sílica, conectado a un detector de ionización de flama (FID) y de conductividad térmica (TCD) (Maki, 2009).

Para realizar las determinaciones se utilizó la siguiente ecuación en base a los cromatogramas del estándar y las muestras problema:

$$CO_2 mlkg^{-1}h^{-1} = (ABC - AR) * \left[ \left( \frac{ppm}{10000} \right) \right] * \left( \frac{EV}{PF} \right) * \left[ \left( \frac{ppm}{100} \right) \right]$$

Dónde:

ABC= Área bajo la curva generada por la muestra problema

AR= Área real, generada a partir de la diferencia entre el valor de la muestra menos el blanco.

ppm= (AR\*460)/8355.5

EV= Espacio vacío del contenedor

PF= Peso fresco del tallo floral (Kg)

La toma de muestras se realizó al inicio del experimento (día 0), a la mitad (día 5) y al final (día 10).

#### 4.5.2 Determinación de la liberación de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

Para realizar las determinaciones de esta variable se usaron las mismas muestras extraídas para la cuantificación de CO<sub>2</sub> y con la misma metodología, con la única diferencia de que se utilizó la siguiente ecuación para realizar las determinaciones:

$$Etileno (\mu L Kg^{-1}h^{-1}) = (ABC - AB) * (cc) * \left[ \left( \frac{VR - VDF}{AS} \right) \right] * (PF)(T)(1000)$$

Donde:

ABC= Área bajo la curva generada por la muestra problema

AB= Área del blanco

Cc= Concentración (0.1)

VR= Volumen del recipiente

VDF= Volumen desplazado del tallo floral

AS= Área de la sustancia (3439564.5)

PF= Peso fresco del tallo floral (Kg)

T= Tiempo (1 h)

#### **4.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para ambas determinaciones, se utilizó un diseño de medidas repetidas completamente al azar (DMR) para analizar el efecto de los tratamientos durante los 10 días de almacenaje, a su vez, se realizaron pruebas de  $t$  para realizar las comparaciones entre tratamientos, así como en las interacciones. Cada tratamiento contó con tres repeticiones, donde cada tallo floral fue considerado como una unidad experimental.

Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS<sup>®</sup>, versión 9.0 (2002).

## 4.7 RESULTADOS

### 4.7.1 Actividad respiratoria

Hubo diferencias desde el día 0 hasta el 10 en los tratamientos con y sin éstas, al inicio T3 tuvo la menor respiración ( $6.85 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ), en contraste con T2 ( $190.32 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). La tendencia fue similar el día 5, con un aumento en la liberación  $\text{CO}_2$ ;  $48.36 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para T3 y  $1079.96 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para T2. Después de 10 d la tendencia fue diferente ya que todos los tratamientos con excepción de T4 disminuyeron su respiración; T1 presentó el desprendimiento menor de  $\text{CO}_2$  correspondiente a  $10.91 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , en contraste a T4 con  $1152.26 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$   $\text{CO}_2$  (Figura 4.2).

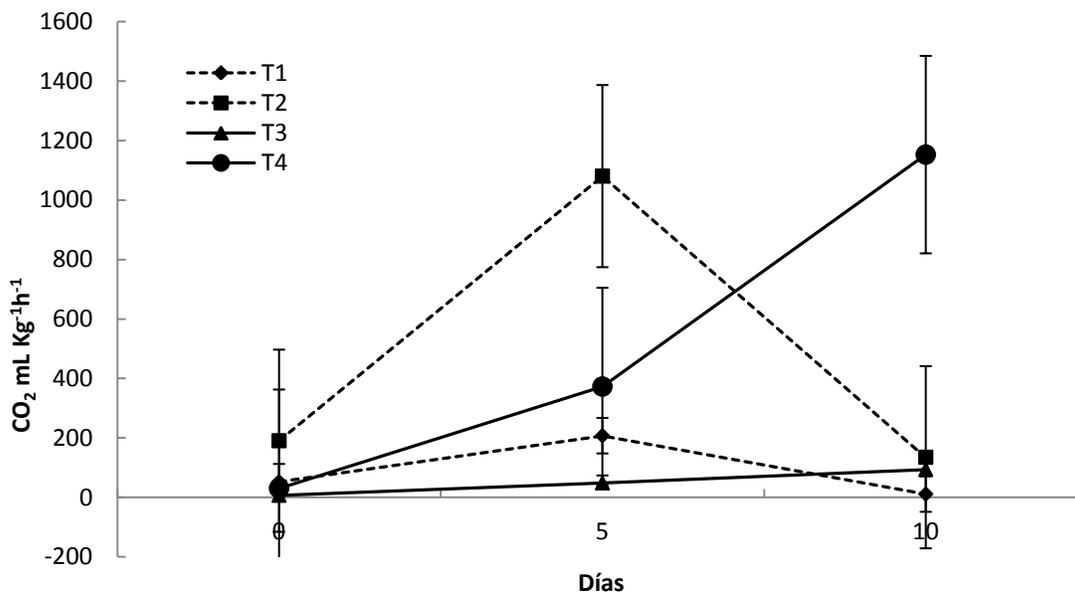


Figura 4. 2. Intensidad respiratoria en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. T1=  $15^\circ\text{C}$ -63% H.R.- $0 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - sin hojas; T2=  $15^\circ\text{C}$ -63% H.R.- $0 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - con hojas; T3=  $12^\circ\text{C}$ -90% H.R.- $26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - sin hojas; T4=  $12^\circ\text{C}$ -90% H.R.- $26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - con hojas.

Hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) en los tratamientos, en el tiempos y la interacción tratamiento x tiempo resultó significativa, lo que indica que ambos factores tienen influencia sobre los resultados cuando éstos interactúan entre sí.

De acuerdo con la prueba *de t* entre el día 0 y 10, hubo diferencias significativas entre el efecto medio de tratamientos sobre la respiración. T4 tuvo la respiración mayor, la presencia de las hojas fue notable, ya que T3 se almacenó bajo las mismas condiciones con la excepción de hojas, y mantuvo niveles bajos de respiración en comparación con T4 (Cuadro 4.2).

Cuadro 4. 3. Comparaciones múltiples de efectos de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la respiración en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Código	Temp. (°C)	Condición			Día		
		H.R. (%)	Luz ( $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Hoja	0	10	
T1	15	63	0	s-h	52.41	10.91	NS
T2	15	63	0	c-h	190.32	134.64	NS
T3	12	90	26	s-h	6.85	93.49	NS
T4	12	90	26	c-h	30.39	1152.26	**

Medias para respiración ( $\text{mLKg}^{-1}\text{h}^{-1} \text{CO}_2$ )  $\alpha=0.05$  s-h, c-h = sin hojas, con hojas respectivamente \*\*= (altamente significativo) NS= No significativo.

Las combinaciones de tratamientos del día 0 y 10 resultaron significativas, al inicio únicamente T2 tuvo diferencias estadísticas pues presentó los índices más altos en respiración; sin embargo, después de 10 d de almacenaje T4 tuvo la respiración mayor (Cuadro 4.3).

Cuadro 4. 4. Comparaciones múltiples entre el efecto medio de tratamientos en los días 0 y 10 sobre la respiración en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica.

Tratamiento	Tiempo (d)	Tratamiento	Tiempo (d)	Pr> t
T1	0	T2	0	0.0220 *
T2	0	T3	0	0.0039 **
T2	0	T4	0	0.0096 **
T1	10	T4	10	<.0001 **
T2	10	T4	10	<.0001 **
T3	10	T4	10	<.0001 **

\*\*=0.01 (altamente significativo), \*=0.05 (significativo).

Tratamientos descritos en el Cuadro 4.1

#### 4.7.2 Liberación de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

Al inicio la liberación de etileno fue mínima con rangos entre 0.25 y 2.28  $\mu\text{L Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  para T1 y T3, respectivamente. Después de 5 d T1 sufrió un leve incremento, alcanzando concentraciones de 1.20  $\mu\text{L Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ , los demás tratamientos tuvieron un decremento; T2 tuvo la concentración menor (0.53  $\mu\text{L Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). Transcurridos 10 d existió un decremento leve en todos los tratamientos, con rangos entre 0.20 y 0.36  $\mu\text{L Kg}^{-1}\text{h}^{-1}$  para T3 y T2 respectivamente (Figura 4.3).

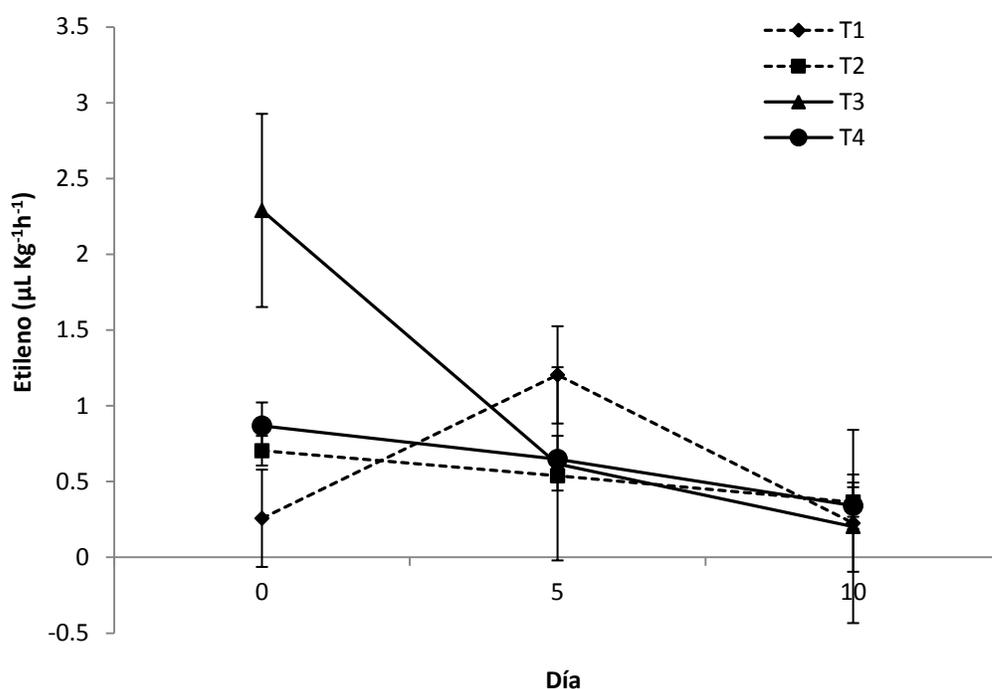


Figura 4. 3. Liberación de etileno en tallos florales de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica durante 10 días de evaluación. T1= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - sin hojas; T2= 15°C-63% H.R.-0  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - con hojas; T3= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - sin hojas; T4= 12°C-90% H.R.-26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ - con hojas.

No se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos, en los tres diferentes tiempos de evaluación, ni en la interacción tratamiento x tiempo, lo cual es indicativo de que esta especie en particular, posiblemente no tiene sensibilidad al etileno.

El estado general de las inflorescencias al inicio y después de 10 d de almacenamiento se ejemplificaron en las siguientes dos figuras (Figura 4.4 y 4.5).

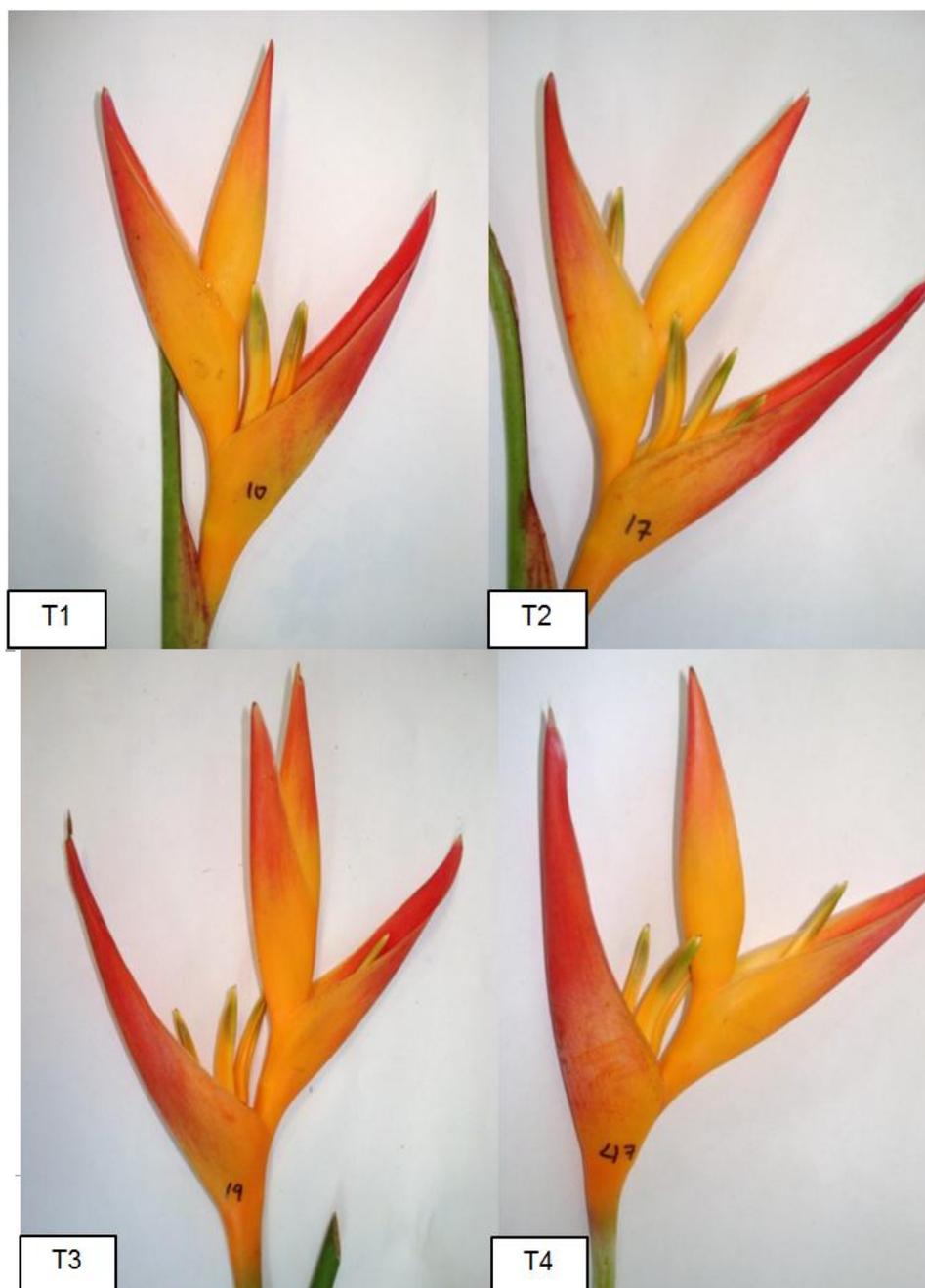


Figura 4. 4. Inflorescencias de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica al inicio del experimento de respiración y liberación de etileno



Figura 4. 5. Inflorescencias de *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica al final del experimento de respiración y liberación de etileno (10 d).

## 4.8 DISCUSIÓN

### Respiración

Los niveles de CO<sub>2</sub> desprendido por los tallos durante el día 0 se encontraron entre 6.85 y 190.32 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para T3 y T2 respectivamente, durante este día, T3 presentó la respiración menor, condiciones favorables para aumentar la longevidad de los tallos (Ranwala y Miller, 2000). Después de 5 d de almacenamiento, la respiración de los tallos incrementó entre 48.36 y 1079.96 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, para T3 y T2 respectivamente. Nuevamente la ausencia de hojas, disminuyó la respiración.

Transcurridos 10 d, T1 representó la respiración menor con 10.91 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, sin presentar diferencias contra T2 y T3, contrario a T4 (1152.26 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), este comportamiento resulta interesante debido a que este tratamiento presentó baja temperatura (12°C), alta humedad relativa (90 %), baja luz (26 μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), por lo que se deduce que la permanencia de hojas produce un efecto negativo sobre el almacenaje, esto se propone a partir de T3, quien tuvo las mismas condiciones a excepción de la presencia de hojas, resultando en una respiración baja (93.49 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>).

La respiración en plantas, es básicamente explicada como el consumo de O<sub>2</sub> a la vez, que es expulsado CO<sub>2</sub>, mediante el consumo de azúcares u otros sustratos. Como resultado de este proceso, se forman dos productos: nucleótidos reducidos (NADH y FADH<sub>2</sub>) y ATP (Hew y Yong, 2004). La respiración transforma los sustratos derivados de la fotosíntesis para obtener energía necesaria para el crecimiento y manutención de los tejidos vivos. La respiración floral funciona como un indicador del potencial de longevidad, en este caso, para flores de corte (Monteiro *et al.*, 2001)

Estudios realizados por Maki *et al.* (2010), donde evaluaron el efecto del ácido aminooxiacético (AOA) y ácido triyodobenzoico (TIBA) en la mitigación de la

reacción geotrópica negativa en tallos florales de *Antirrhinum* las tasas respiratorias fluctuaron a lo largo del experimento, presentando un pico de  $180 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  durante los primeros dos días y una disminución a partir del tercer día de evaluación, con rangos entre los  $27$  y  $80 \text{ mg L}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ , alcanzando una disminución del  $85 \%$  con relación a los valores iniciales.

En nuestro estudio, la tendencia fue similar al punto anterior en los tratamientos que presentaron una disminución de la respiración en comparación con los primeros dos tiempos de evaluación a excepción de T4 y T3, que siempre tuvieron una tendencia hacia el incremento ( $1152.26$  y  $93.49 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , respectivamente). La disminución de la respiración hacia el final del experimento pudo deberse a que una vez que los tallos son cosechados no pueden reemplazar las reservas de almidón, azúcares u otros metabolitos para la producción de energía, por lo que al transcurrir el tiempo, las reservas se terminan y comienza el catabolismo de los productos.

Estudios realizados con *Rosa hybrida* M. cv. "Visa", almacenadas a  $4$  y  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  para determinar el efecto del almacenamiento en frío por hasta siete semanas mostraron un decremento en la respiración conforme se acercaban a la etapa senescente, siendo aquellos tallos almacenados a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  los que mostraron menores índices de respiración ( $100$  a  $200 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ) contra aquellas rosas almacenadas a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  que presentaron tasas de  $250$  a  $450 \text{ mL Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (Serrano *et al.*, 1992).

Según Wills *et al.* (1998) y Trujillo *et al.* (2006) la senescencia de tallos florales está asociada con un incremento en la respiración, síntesis de etileno, cambios de color y pérdida de turgencia. Estudios realizados en *Rosa* sp. por Monteiro *et al.* (2001) demuestran la existencia de una correlación negativa entre la respiración y la vida de florero durante la primavera y verano; sin embargo, esta correlación se vuelve positiva en la temporada invernal, (Monteiro *et al.*, 2001; Kader, 1985; Reid, 1985).

En general, una velocidad de respiración baja está relacionada a un incremento de la vida de florero en flores de corte (Kuc y Workman, 1964), en plantas de maceta de diferentes cultivares de crisantemo, se ha observado una correlación negativa entre la respiración de las inflorescencias y la longevidad (Monteiro, 1991). La explicación a este fenómeno está propuesta bajo el razonamiento de que cuanto más rápida es la tasa metabólica, las células u órganos involucrados expresan su programa genético con mayor aceleración, lo cual causa una corta longevidad. Este principio fue propuesto por Pearl (1928), quien tras realizar estudios con plántulas de melón (*Cucumis melo* L.) evidenció que cuanto mayor es la tasa de gasto de energía más corta será la duración de la vida y viceversa.

Estudios realizados por Çelikel y Reid en 2002, mostraron el efecto de temperaturas de almacenamiento (desde 0 hasta 20°C) en inflorescencias de *Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook.f. cv. "Vesuvio" y *Helianthus annuus* L., los resultados demuestran que la velocidad de respiración aumentó exponencialmente conforme se incrementaba la temperatura de almacenamiento teniendo índices de respiración en inflorescencias de gerbera de 20 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para 0°C y 180 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para 20°C y 93 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> para girasol.

Experimentos realizados en iris (*Iris x hollandica*) para estudiar el efecto del thidiazuron (TDZ) sobre la apertura floral y la longevidad, los tallos fueron almacenados a 0 y 20°C. Los resultados mostraron que los tallos tratados con TDZ mostraron una alta tasa respiratoria inicial que fue decreciendo conforme pasó el tiempo. En un inicio, la liberación de CO<sub>2</sub> se encontró entre los 110 y 120 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y después de 168 horas de almacenaje decreció hasta llegar a los 43 mL Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> (Macnish *et al.*, 2010).

La respiración puede incrementar sus ritmos de manera muy significativa debido diversos factores simultáneos o separados, como pueden ser un incremento en los procesos de síntesis, por ejemplo, en la apertura floral (Nakamura *et al.*, 1975), o intensos periodos de crecimiento (Geider y Osborne, 1989; Kallarackal y Milburn, 1985), una tasa metabólica intrínseca alta o una necesidad de energía alta para el

mantenimiento (Wilson, 1975), un aumento en las necesidades de recuperación debido a condiciones estresantes (Reid y Pratt, 1972; Romani *et al.*, 1968), un último esfuerzo para mantener la homeostasis (Romani, 1987) o bien, debido a la liberación de un sustrato limitado, como los azúcares en las flores de corte (Marousky, 1969; Nichols, 1973, Van der Merwe *et al.*, 1986).

Una manera efectiva para reducir la respiración, es la disminución de la temperatura; se ha documentado que una reducción de 25 a 0°C disminuye la respiración entre un 85 hasta 95 % (Hardenburg *et al.*, 1986), esta disminución acelerada no promueve la fermentación o daños producidos por bajo O<sub>2</sub> (Burg, 2004); sin embargo, se debe ser cuidadoso, ya que debe tomarse en cuenta el tipo de producto puesto que las especies de origen tropical no soportan temperaturas menores a 10°C, con lo cual, se podrían generar lesiones por frío.

### **Liberación de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)**

En este estudio no se encontraron diferencias estadísticas en la liberación de etileno entre los tratamientos evaluados, por lo cual, es posible que esta especie en particular, pudiera no presentar sensibilidad al etileno, o bien, existió una liberación a tan bajas concentraciones que el equipo fue incapaz de detectarlas.

El etileno es el más simple de los reguladores de crecimiento en las plantas, es una hormona que ha sido reconocida en muchos procesos fisiológicos, incluyendo maduración, abscisión, elongación, senescencia floral y foliar, muerte celular programada, respuesta contra patógenos, etc., por lo que juega un rol importante en las respuestas a factores bióticos y abióticos (Burg, 1973; Yang y Hoffman, 1984; Bleecker y Kende, 2000; Klee, 2002, 2004; Wang *et al.*, 2002; Lin *et al.*, 2009; Gallie, 2010). La acción del etileno depende de su concentración y habilidad de las células para monitorear los cambios en concentraciones y traducir esta información a respuestas fisiológicas.

La efectividad del etileno requiere receptores con altos niveles de afinidad, por lo que tiene un receptor específico dentro de la membrana. Se cree que la transducción de la señal de etileno se logra a través de una serie de fosforilaciones que se llevan a cabo por una cascada de proteínas quinasas (Khan, 2006).

Generalmente todas las monocotiledóneas presentan insensibilidad al etileno, mientras que las dicotiledóneas tiende a ser sensibles a esta hormona; sin embargo, pueden existir excepciones (Van Doorn, 2001; Verlinden, 2006). En este estudio se trabajó con *H. psittacorum* L. f. cv. Trópica, que se encuentra dentro del orden de los zingiberales, grupo de plantas que pertenecen a las monocotiledóneas, razón por la cual, puede ocurrir este efecto de insensibilidad al etileno.

Así como el etileno es el principal regulador en flores sensibles a éste, para las especies insensibles a esta hormona el ácido abscísico (ABA) es el principal regulador del proceso senescente (Shahri y Tahir, 2011). Se ha encontrado, que la aplicación exógena de ABA para ciertas especies ha acelerado la senescencia (Borochoy y Woodson, 1989). En lirios, el ABA se considera como el principal regulador hormonal para la senescencia, ocasionando cambios en la peroxidación de lípidos, fuga de iones, actividad de proteasas, así como la expresión de DNAasas y RNAasas (Panavas y Rubinstein, 1998).

En *Narcissus*, se ha documentado que el contenido de ABA aumentó en los tépalos de las flores senescentes, y coincidió, con la aparición de signos visibles de senescencia (Hunter *et al.*, 2004), por lo que se cree, que el ABA induce la transcripción independiente de etileno.

## 4.9 CONCLUSIONES

Las condiciones que favorecieron una menor respiración en los tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica correspondieron a rangos de temperatura entre 12 y 15 °C, humedad relativa entre el 63 y 90 % H.R., y luz entre 0 y 26  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  de luz y preferentemente ausencia de hojas para temperaturas correspondientes a 15 °C. El papel de las hojas juega un rol importante en el proceso respiratorio ya que su presencia incrementa significativamente las tasas de respiración, dando como resultado menores índices de longevidad.

El tratamiento que causó una mayor respiración y por lo tanto puede condicionar la calidad durante el almacenaje fue T4, en este caso fue claro el efecto negativo que propicia la presencia de hojas aún bajo condiciones adecuadas para el almacenaje.

Para el caso de la liberación de etileno, no se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), por lo que se deduce que estas especies no son sensibles a esta hormona.

#### 4.10 LITERATURA CITADA

- Abeles, F.B.; Morgan, P.W.; Saltveit, M.E.; 1992. Ethylene in plant biology. Academic, New York.
- Bleecker, A.B.; Kende, H. 2000. Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. Annual Review of Cell and Developmental Biology 16:1-18.
- Borochoy, A.; Woodson, W.R. 1989. Physiology and biochemistry of flower petal senescence. Horticulture Review 11:15-43.
- Burg, S.P. 1973. Ethylene in plant growth. Proceedings of the National Academy of Science 70:591-597.
- Burg, S.P. 2004. Postharvest physiology and hypobaric storage of fresh produce. CABI Publishing, 1st. Ed. United Kingdom. 672 p.
- Çelikel, F.G.; Reid, M.S. 2002. Storage temperature affect the quality of cut flowers from the *Asteraceae*. HortScience 37(1):148-150.
- Gallie, D.R. 2010. Regulated ethylene insensitivity through the inducible expression of the Arabidopsis *etr1-1* mutant ethylene receptor in tomato. Plant Physiology 152:1928-1939.
- Geider, R.J.; Osborne, B.A. 1989. Respiration and microalgal growth: a review of the quantitative relationship between dark respiration and growth. New Phytologist 112:327-341.
- Gómez, M.A. 1991. Introducción a la biología molecular e ingeniería genética de las plantas. Cap. 7. 1era. Ed. Celaya, Guanajuato, México. Pp. 119-130.
- Hardenburg, R.E.; Watada, A.E.; Wang, C.L. 1986. The commercial storage of fruits and vegetables, and florist and nursery stocks. USDA. Agric. Handbook No. 66. Hew, C.S.; Yong, W.H. 2004. The physiology of tropical orchids in relation to the industry. 2da. Ed. World Scientific Publishing. USA. 370 p.
- Hoyos, H.F. 1986. Plantas ornamentales de Venezuela. Ed. Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Caracas, Venezuela. 551 p.

- Hunter, D.A.; Ferranti, A.; Vernieri, P.; Reid, M.S. 2004. Role of abscisic acid in perianth senescence of daffodil (*Narcissus Pseudonarcissus* "Dutch master"). *Physiologia Plantarum* 121:313-321.
- Kader, A.A. 1985. Postharvest biology and technology: An overview, p. 3. En: Kader, A.A.; Kasmire, R.F.; Mitchell, F.G.; Reid, M.S. Sommer, N.F.; Thompson, J.F. (Eds.). *Postharvest technology of horticultural crops*. Univ. Calif. Coop. Ext. Serv. Div. of Agr. and Natural Resources. Spec. Publ. 3311.
- Kallarackal, J.; Milburn, J.A. 1985. Respiration and phloem translocation in the roots of chickpea (*Cicer arietinum*). *Annals of Botany* 56:211-218.
- Khan, N.A. 2006. *Ethylene action in plants*. Springer. Netherlands. 206 p.
- Klee, H.J. 2002. Control of ethylene-mediated processes in tomato at the level of receptors. *Journal Experimental of Botany* 53:2057-2063.
- Klee, H.J. 2004. Ethylene signal transduction: moving beyond Arabidopsis. *Plant Physiology* 135:660-667.
- Knutson, R.M. 1974. Heat production and temperature regulation in eastern skunk cabbage. *Science* 186:746-747.
- Kuc, R.; Workman, M. 1964. The relation of maturity to the respiration and keeping quality of cut carnations and chrysanthemus. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 84:575-581.
- Lin, Z.; Zhong, S.; Grierson, D. 2009. Recent advances in ethylene research. *Journal Experimental of Botany* 60:3311-3336.
- Macnish, A.J.; Jiang, C.Z.; Reid, M.S. 2010. Treatment with thidiazuron improves opening and vase life of iris flowers. *Postharvest Biology and Technology* 56:77-84.
- Maki, D.G.; Peña, V, C.; Gutiérrez, E.J.; Arévalo, G.M.; Gaytán, AA. 2010. Curvatura geotrópica, daño en membranas celulares y tasa respiratoria en tallos florales de *Antirrhinum majus* L., cv. Potomac White Ivory, tratados con AOA y TIBA. *Revista de la Facultad de Agronomía* 27:574-593.

- Marousky, F.J. 1969. Vascular blockage, water absorption, stomatal opening, and respiration of cut "Better times" roses treated with 8-hydroxyquinoleine citrate and sucrose. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 94:223-226.
- Monteiro, J.A. 1991. Potted chrysanthemum postproduction longevity: carbón exchanges rates, dry matter and nonstructural carbohydrates. MSc. Dissertation Thesis. University of Florida, Gainesville, USA.
- Monteiro, J.A.; Nell, T.A.; Barrett, J.E. 2001. Postproduction of potted miniature rose: flower respiration and single flower longevity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126:134-139.
- Nagy, K.A.; Odel, D.K.; Seymour, R.S. 1972. Temperature regulation by the inflorescence on *Phylodendron*. *Science* 178:1195-1197.
- Nakamura, R.; Ito, T.; Hirano, K. 1975. Changes of the respiration rates in cut flowers. *Science Reports of the Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama, Japan*, 46:29-37.
- Nichols, R. 1973. Senescence of the cut carnation flower: respiration and sugar status. *Journal of Horticultural Sciences* 48:111-121.
- Panavas, T.; Rubinstein, B. 1998. Oxidative events during programmed cell death of daylily (*Hemerocallis* hybrid) petals. *Plant Science* 133:125-138.
- Pearl, R. 1928. Experiments on longevity. *The Quartely Review of Biology* 3:391-407.
- Reid, M.S.; Pratt, H.K. 1972. Effects of ethylene on potato tuber respiration. *Plant Physiology* 49:252-255.
- Reid, M.S. 1985. Postharvest handling systems: Ornamentals, p. 174. En Kader, A.A.; Kasmire, R.F.; Mitchell, F.G.; Reid, M.S. Sommer, N.F.; Thompson, J.F. (Eds.). *Postharvest technology of horticultural crops*. Univ. Calif. Coop. Ext. Serv. Div. of Agr. and Natural Resources. Spec. Publ. 3311.

- Reid, M.S.; Wu, M.J. 1992. Ethylene and flower senescence. *Plant Growth Regulation* 11:37-43.
- Romani, R.J.; Yu, I.K.; Ku, L.L.; Fisher, L.K.; Dehgan, N. 1968. Cellular senescence, radiation damage to mitochondria, and the compensatory response in ripening pear fruits. *Plant Physiology* 43:1089-1096.
- Romani, R.J. 1987. Senescence and homeostasis in postharvest research. *HortScience* 22:865-868.
- Serrano, M.; Martínez, G.; Pretel, M.T.; Riquelme, F.; Romojaro, F. 1992. Cold storage of rose flowers (*Rosa hybrida* M. cv. "Visa"): physiological alterations. *Scientia Horticulturae* 51:129-137.
- Seymour, R.S.; Schultze, M.P. 1996. Thermoregulation lotus flowers. *Nature* 383:305.
- Shahri, W.; Tahir, I. 2011. Flower senescence-strategies and some associated events. *The Botanical Review* 77:152-184.
- Trujillo, V.B.; Zavaleta, M.H.; Mora, H.M.; López, D.H. 2006. Efecto del CaCl<sub>2</sub> sobre la actividad enzimática antioxidante durante la vida florero de gerbera (*Gerbera jamesoni* H. Bolux Ex Hook F.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(2)203-209.
- Van der Merwe, J.J.; Sward, G.H.; Burger, L. 1986. The effects of sucrose uptake from a base médium on the starch metabolism of senescing *Gladiolus* inflorescences. *South African Journal of Botany* 52:541-545.
- Van Doorn, W.G. 2001. Categories of petal senescence and abscission: a re-evaluation. *Annals of Botany* 87:447-456.
- Verlinden, S. 2006. Flower senescence. En: Jordan, B.R. (Ed). *The molecular biology and biotechnology of flowering*. 2da. Ed. CABI Publising. Pp. 150-177.
- Wang, K.L.; Li, H. Ecker, J.R. 2002. Ethylene biosynthesis and signaling networks. *Plant Cell (Suppl.)*. 14:S131-S151.

- Wilson, D. 1975. Variations in leaf respiration in relation to growth and photosynthesis of *Lolium*. *Annals of Applied Biology* 80:323-338.
- Wills, B.; Graham, D.; Joyce, D. 1998. *Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetable and Ornamentals*. 4th. Ed. CAB International. Australia. 226 p.
- Woltering, E.J.; Van Doorn, W.G. 1988. Role of ethylene in senescence of petals-morphological and taxonomical relationships. *Journal Experimental of Botany* 39:1605-1616.
- Yang, S.F.; Hoffman, N.E.; 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35:155-189.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

En base a los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación, se concluye que:

Las condiciones que en general propician un adecuado almacenamiento de tallos florales de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Trópica corresponden a rangos de temperatura entre los 12 y 16°C, humedad relativa entre el 63 y 90 %, así como bajos niveles de intensidad lumínica, cercanos o inferiores a los  $26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , esto debido a que la conjunción de estos factores produjo una disminución menor de biomasa fresca, coloración, pérdida de agua, transpiración y daño en membranas.

Sin embargo, si se desea ser más estricto y mejorar la calidad del almacenaje, se recomienda utilizar los valores mínimos de temperatura (12°C), combinado con alta humedad relativa (90 %), bajos niveles de luz (desde 0 a  $26 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) así como retirar las láminas foliares del tallo floral, ya que, además de preservar las variables antes mencionadas, se reduce la respiración de los tallos y se asegura una mayor vida de florero para el consumidor.

En cuanto a la sensibilidad al etileno, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, por lo que se deduce que esta especie en particular es insensible a esta fitohormona.

En todos los casos, las respuesta negativas se obtuvieron cuando se utilizó alta temperatura (26°C), baja humedad relativa (37 %), niveles reducidos de luz ( $9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y presencia de hojas.

Para el caso específico de este trabajo, se recomienda utilizar un colorímetro para realizar las evaluaciones de color, esto con el fin de calibrar los valores obtenidos a través del software creado en Matlab® (Programa creado y proporcionado por el

Dr. José Andrés Herrera Corredor y la M.C. Mirna López Espíndola) y aquellos valores que proporcionaría el colorímetro.

De acuerdo a la literatura consultada, donde proponen utilizar porcentajes de H.R. bastante puntuales (90 %) y en base a los resultados obtenidos en este estudio donde este rango es ampliado (desde el 63 hasta el 90 %), se recomienda realizar análisis más detallados para explicar a fondo su efecto sobre los tallos florales..

A su vez, es importante reproducir el experimento y adicionar estudios de vida de florero para determinar el beneficio completo de las condiciones de almacenaje antes mencionadas.

Debido al reciente interés por las ornamentales tropicales, particularmente las heliconias, existe poca información seria y detallada sobre el manejo postcosecha de estas especies, por lo que se recomienda realizar estudios específicos, para el resto de heliconias de interés comercial.