



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENETICA**

**INDUCCIÓN DE MUTACIONES EN
HELICONIAS POR RADIACIÓN
RECURRENTE CON COBALTO⁶⁰**

SANDRA DE JESÚS HERNÁNDEZ NATAREN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **INDUCCIÓN DE MUTACIONES EN HELICONIAS POR RADIACIÓN RECURRENTE CON COBALTO⁶⁰**. Realizado por la alumna: **Sandra de Jesús Hernández Nataren**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR



CONSEJERA

Dra. Ma. Del Carmen Mendoza Castillo

DIRECTORA DE TESIS



Dra. Obdulia Baltazar Bernal

ASESORA



Dra. Alejandrina Robledo Paz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Agosto de 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Posgraduados por brindarme la oportunidad de crecer en mi formación académica en esta institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico recibido durante mis estudios de maestría.

A la Línea Prioritaria de Investigación LPI-13 Comunidades rurales agrarias, ejidos y conocimiento local, por el financiamiento para que esta investigación se realizara.

A Dios por haberme colocado en el seno de una excelente familia, pues gracias a ella he logrado alcanzar mis metas.

A mi consejo particular: Dra. Ma. del Carmen Mendoza castillo, por todo su apoyo, asesoría y sugerencias y paciencia durante toda la investigación, Dra. Obdulia Baltazar Bernal por la dirección de este trabajo y su apoyo incondicional, Dra. Alejandrina Robledo Paz por su valiosa revisión y sugerencias al presente trabajos.

Al Dr. José Luis García Cué, por todo su apoyo, su asesoría y paciencia.

Al Dr. Eulogio de la Cruz torres, por su asesoría al inicio de esta investigación y al Instituto Nacional de investigaciones Nucleares, por el apoyo para la realización de esta investigación.

Al Dr. Tarsicio Corona Torres por su colaboración y apoyo en este trabajo.

A mis amigos y compañeros, Amado, Lorena, Héctor, Alejandra, Eddie, Cristian, Ana, Rocío, Nery, Cesar, Esteli, Lupita, gracias por su amistad, y por haber recorrido este camino juntos.

Gracias por todo el cariño demostrado día a día, por hacer esta etapa de mi vida feliz, por la paciencia y comprensión en los ratos de miedo e inseguridad, *Ars longa vita brevis*.

A todas aquellas personas que estuvieron presentes durante este proceso de formación y crecimiento, por todo su apoyo gracias.....

DEDICATORIA

A mis padres, Aciela Nataren Pérez y Carlos Hernández Callejas, por ser mi ejemplo, motivación y apoyo constante y por enseñarme que en la vida hay que trabajar muy duro para alcanzar las metas, los adoro.

A mi hermanos, Eder, Edith, Olger, Lorena, Tania y Karla, porque cada uno de ustedes me ha dado sabiduría, por todo su amor, apoyo y sobre todo porque ni el tiempo ni la distancia han logrado disminuir el gran amor que nos tenemos. Gracias por ser la gran familia que somos.

A mis cuñadas y sobrinos, todos ustedes a su manera me han dado alegrías y ratos de gran felicidad.

Gracias.....

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE ANEXOS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos particulares	3
3 HIPÓTESIS.....	4
3.1 Hipótesis general.....	4
3.2 Hipótesis particulares	4
4 REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Características generales de las heliconias	5
4.1.1 Hojas.....	6
4.1.2 Inflorescencia	6
4.1.3 Fruto.....	7
4.1.4 Propagación	7
4.2 Importancia del cultivo	8
4.3 Distribución.....	10
4.4 Mejoramiento genético por mutaciones inducidas	11

5	MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1	Localización del sitio experimental.....	14
5.2	Determinación del número cromosómico.....	14
5.2.1	Material biológico.....	14
5.2.2	Preparación de muestras.....	15
5.2.3	Recuento de cromosomas	16
5.3	Efecto de diferentes dosis de radiación gamma.....	16
5.3.1	Material biológico.....	16
5.3.2	Aplicación de tratamientos.....	18
5.3.3	Siembra del material.....	18
5.4	Radiación recurrente (M2)	21
5.5	Caracterización agromorfológica de las generaciones M1 y M2	21
5.6	Diseño experimental y análisis estadístico.....	28
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6.1	Determinación del número cromosómico de los cultivares.....	29
6.2	Efecto de las dosis de radiación gamma en tres cultivares de heliconia	33
6.3	Efecto de la radiación gamma en generaciones M2 y M3	44
6.4	Caracterización agromorfológica de inflorescencias de heliconias en las generaciones de radiación M1 y M2.....	55
7	DISCUSIÓN GENERAL.....	70
8	CONCLUSIONES GENERALES	72
9	BIBLIOGRAFÍA	73
10	ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rizomas de heliconia irradiados con rayos Gamma al momento de establecerse en el vivero.....	19
Figura 2. Establecimiento en campo de plantas de heliconia irradiadas.	20
Figura 3. Fotografía de cromosomas de células de ápices de raíces de A) <i>Heliconia psittacorum</i> x <i>Heliconia spathocircinata</i> Aristeguieta cv. 'Tropics', B) <i>Heliconia latispatha</i> Bentham cv. 'Mexican Gold' y C) <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. 'Andrómeda'.....	32
Figura 4. Efecto de diferentes dosis de radiación gamma sobre el porcentaje de brotación y sobrevivencia de brotes en <i>Heliconia psittacorum</i> x <i>Heliconia spathocircinata</i> Aristeguieta cv. 'Tropics' en vivero.	36
Figura 5. Dosis letal media en rizomas de <i>Heliconia psittacorum</i> x <i>Heliconia spathocircinata</i> cv. 'Tropics' irradiados con rayos gamma.	37
Figura 6. Efecto de diferentes dosis de radiación gamma sobre el porcentaje de brotación y sobrevivencia de brotes de <i>Heliconia latispatha</i> Bentham cv. 'Mexican Gold' en vivero.	40
Figura 7. Dosis letal media en rizomas de <i>Heliconia latispatha</i> Bentham cv. 'Mexican Gold' irradiados con rayos gamma.....	41
Figura 8. Efectos de diferentes niveles de radiación gamma, en el porcentaje de brotación y sobrevivencia, en rizomas de <i>H. psittacorum</i> Cv. 'Andrómeda' en vivero.....	43
Figura 9. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en el porcentaje de sobrevivencia de las generaciones M2 y M3 del cultivar 'Tropics' en vivero.	47
Figura 10. Altura y área foliar de planta de las generaciones M2 y M3 del cultivar 'Tropics' en vivero.	48
Figura 11. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en el porcentaje de sobrevivencia de las generaciones M2 y M3 del cultivar 'Mexican Gold'.	50
Figura 12. Altura de planta y área foliar de las plantas de las generaciones de radiación M2 y M3 del cultivar 'Mexican Gold', aplicado en diferentes dosis en vivero.....	51

Figura 13. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en el porcentaje de sobrevivencia de las generaciones M2 y M3 del cultivar ‘Andrómeda’.....	53
Figura 14. Altura y área foliar de plantas de las generaciones M2 y M3 del cultivar ‘Andrómeda’, sometida a diferentes dosis de radiación con Co ⁶⁰ en vivero.	55
Figura 15. Dendograma del cultivar ‘Tropics’ con base en las distancias euclidianas estimadas a partir del análisis de variables cualitativas de inflorescencias por el método de vinculación inter-grupos	58
Figura 16. Inflorescencias del cultivar ‘Tropics’ con cambios en su arquitectura con cuatro brácteas abiertas. A) Inflorescencia de plantas no irradiadas (testigo) con tres brácteas abiertas, B) Inflorescencia de plantas irradiadas 3 Gy de la generación M1 con cuatro brácteas abiertas.....	59
Figura 17. Hojas variegadas de plantas del cultivar ‘Tropics’ provenientes, de rizomas sometidos a radiación recurrente (generación M2) con Cobalto ⁶⁰ de 24 Gy.....	60
Figura 18. Dendograma del cultivar ‘Tropics’ obtenido con base en las distancias euclidianas estimadas a partir del análisis de variables cualitativas de inflorescencias por el método de vinculación inter-grupos.	64
Figura 19. Cambios inducidos por radiación gamma en inflorescencias del cultivar ‘Mexican Gold’ de la generación M1. A) Raquis de inflorescencia irradiada con 12 Gy de rayos gamma con Cobalto ⁶⁰ , B) Pseudotallo de inflorescencia irradiada 15 Gy de rayos Gamma con Cobalto ⁶⁰	65
Figura 20. Dendograma obtenido con base en las distancias euclidianas, estimadas a partir del análisis de variables cualitativas de inflorescencias del cultivar ‘Andrómeda’, por el método de vinculación inter-grupos.	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de las tres especies de heliconia utilizadas en el estudio de mutaciones inducidas.....	17
Cuadro 2. Características del suelo del área de estudio obtenido del análisis realizado en el laboratorio de Física de Suelos del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Junio de 2006.....	20
Cuadro 3. Caracteres evaluados en las inflorescencias de las generaciones M1 y M2 de tres cultivares de heliconia (Moreno, 2005).....	22
Cuadro 4. Desarrollo de brotes irradiados de <i>Heliconia psittacorum x heliconia spathocircinata</i> Aristeguieta cv. 'Tropics' con Co ⁶⁰ en vivero a los 75 días después de la radiación.....	34
Cuadro 5. Desarrollo en vivero de brotes irradiados de <i>Heliconia latispatha</i> Bentham Cv. 'Mexican Gold' con Co ⁶⁰ , a los 90 días de evaluación.....	39
Cuadro 6. Desarrollo en vivero de brotes irradiados de <i>Heliconia psittacorum</i> L. f. cv. 'Andrómeda', a los 90 días de evaluación.	42
Cuadro 7. Comparación de medias de variables morfológicas de brotes desarrollados en el cultivar 'Tropics' de las generaciones de radiación M2 y M3.	46
Cuadro 8. Comparación de medias de variables morfológicas de brotes desarrollados del cultivar 'Mexican Gold' de las generaciones de radiación M2 y M3.	49
Cuadro 9. Comparación de medias de variables morfológicas de brotes desarrollados del cultivar 'Andrómeda' de las generaciones de radiación M2 y M3.	52

Cuadro 10. Comparación de medias de variables cuantitativas de la inflorescencia de plantas desarrolladas en campo del cultivar 'Tropics' de las generaciones de radiación M1 y M2. 56

Cuadro 11. Comparación de medias de variables cuantitativas de la inflorescencia de plantas desarrolladas del cultivar 'Mexican Gold' de las generaciones de radiación M1 y M2 desarrolladas en campo. 62

Cuadro 12. Comparación de medias de variables cuantitativas de la inflorescencia de plantas del cultivar 'Andrómeda' de las generaciones de radiación M1 y M2. desarrolladas en campo. 67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matriz con base en las medidas euclidianas de 15 variables cualitativas de inflorescencia de las generaciones de radiación M1 y M2 del cultivar 'Tropics'.	78
Anexo B. Matriz con base en las medidas euclidianas de 15 variables cualitativas de inflorescencia de las generaciones de radiación M1 y M2 del cultivar 'Mexican Gold'.	79
Anexo C. Matriz con base en las medidas euclidianas de 15 variables cualitativas de inflorescencia de las generaciones de radiación M1 y M2 del cultivar 'Andrómeda'.	80

RESUMEN

Hernández Nataren, Sandra de Jesús
Colegio de Posgraduados, 2013

La demanda de heliconias como planta ornamental se ha incrementado notablemente, tanto a nivel nacional como internacional, y sin lugar a dudas, hoy en día su cultivo se ha convertido en un factor de importancia en la economía agrícola de muchos países. La falta de cultivares con buenas características agronómicas, particularmente buena producción invernal y anual, así como larga vida postcosecha, son algunos de los aspectos que impiden que el mercado de las heliconias se extienda. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo por objetivo evaluar los efectos de la radiación Gamma con Cobalto⁶⁰ en plantas de heliconia de tres cultivares (*Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata aristeguieta* cv. Tropics, *Heliconia latispatha Benth* cv. Mexican Gold y *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Andrómeda) con diferentes dosis de radiación gamma; así como evaluar el efecto de diferentes dosis de radiación gamma sobre distintos caracteres morfológicos de los tres cultivares de heliconia, a través de generaciones de radiación recurrente. Además se determinó el número cromosómico de los tres cultivares de heliconia encontrándose que todos poseen un número cromosómico constante de $2n = 24$. Se evaluaron ocho características cuantitativas y 15 características cualitativas con un análisis de conglomerados. La característica que principalmente diferenció a las inflorescencias fue el color de brácteas, sépalos, raquis y pseudotallo, entre las generaciones M1 y M2.

Palabras clave: Heliconia, cultivar, dosis, radiación gamma, Cobalto⁶⁰.

ABSTRACT

Hernández Nataren, Sandra de Jesús
Colegio de Posgraduados, 2013

Heliconia demand as an ornamental plant has increased significantly, both domestically and internationally, and certainly today its cultivation has become an important factor in the agricultural economy of many countries. The lack of cultivars with good agronomic characteristics, particularly good winter production and annual and long shelf-life, are some of the issues that prevent heliconias market spreads. Therefore, in the present work was to evaluate the effects of gamma radiation with Cobalt⁶⁰ plants of three cultivars of heliconia (*Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata aristeguieta* cv. Tropics, *Heliconia latispatha* Bentham cv. Mexican Gold y *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Andrómeda) with different doses of gamma radiation as well as to evaluate the effect of different doses of gamma radiation of different morphological features of the three cultivars heliconia through generations of recurrent radiation. Also determined the chromosome number of three cultivars of heliconia finding that all cultivars studied have a constant chromosome number $2n = 24$. Eight characteristics were evaluated quantitative and 15 qualitative features a cluster analysis. The main feature that differentiated the inflorescences was colored bracts, sepals, rachis and pseudostem between M1 and M2 generations.

Keywords: Heliconia, cultivar, dose gamma radiation, Cobalt⁶⁰.

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

Los mutantes espontáneos se han usado en la agricultura desde la antigüedad para satisfacer las necesidades de alimentación del hombre. La domesticación de las plantas se centró en la selección de especies con las mejores características para su propagación y rendimiento. La reproducción de cultivares de plantas mejoradas se basa en dos principios: la variación genética y la selección (Novak y Bruner, 1992).

La mutación inducida en plantas propagadas vegetativamente muestra ventajas únicas debido a su alta frecuencia, amplio espectro de variación, y su estabilización más rápida (Liu y Shirong, 2002). En los últimos 30 años, más de 1,700 cultivares de plantas con atributos significativamente mejorados, como el aumento en la producción, mejor calidad, mayor resistencia a enfermedades y a sequía, se han obtenido por medio de mutaciones (Brunner, 1995).

China es uno de los países más avanzados en el mejoramiento de cultivos de frutales y ornamentales por medio de mutaciones. Datos registrados por la FAO/IAEA, muestran que para el año 2000, este país ya había desarrollado 11 nuevos cultivares en tres tipos de árboles frutales y alrededor de 67 nuevos cultivares en 6 especies de plantas ornamentales, por medio de radiaciones (Liu y Shirong, 2002).

Las plantas ornamentales son ideales para mejorarse mediante mutaciones ya que después del tratamiento mutagénico algunas características como las de la flor y los hábitos de crecimiento pueden ser fácilmente monitoreados (Schum y Preil, 1998).

Se han realizado diversos estudios en inducción de mutaciones para obtener nuevas variedades en ornamentales. Por ejemplo, en el kalanchoe se estudiaron los efectos de la radiación gamma en el desarrollo de esta planta ornamental y se observaron diversas malformaciones en las estructuras de las hojas (Stein y Sparrow, 1963; Nakornthap, 1973). El crisantemo es una de las especies ornamentales que más se ha expuesto a mutagénesis con el objetivo de inducir variabilidad genética, obteniendo un número considerable de cultivares a través de este método de mejoramiento (Otahola *et al.*, 2001). Por otro lado, en México se están realizando estudios de los efectos de la radiación en nochebuena (Canul *et al.*, 2010) quienes lograron modificar la longitud de bráctea y del pecíolo de la bráctea, además de disminuir la altura de planta.

Los países tropicales cuentan con gran diversidad de especies de plantas del género *Heliconia*, las cuales son actualmente catalogadas como flores exóticas en el mercado internacional. Sin embargo, algunas de estas especies presentan limitantes para ser incluidas en este mercado por características tales como el tamaño de la planta, del pedúnculo, peso de las inflorescencias, duración en florero y sensibilidad al transporte, entre otras (Urrea y Ceballos, 2005).

La creciente demanda comercial de ornamentales, nacional e internacional, exige nuevas formas y texturas en este tipo de productos agrícolas que hoy en día son escasas. Por lo tanto, incursionar en la generación de nuevas variedades de ornamentales tropicales puede generar una ventaja competitiva en ese sector agrícola y lograr una mejor posición en el mercado internacional.

Algunos de los principales objetivos del mejoramiento genético por radiación gamma son: resistencia a enfermedades y plagas, factores abióticos adversos, hábitos de creci-

miento, inducir nuevas formas y colores en las flores y follajes, entre otros (Urrea y ceballos, 2005).

A pesar de que las heliconias producen semillas, éstas presentan bajo porcentaje de germinación y larga latencia (Criley y Broshcat, 1992). Esto limita los estudios de mejoramiento genético por semilla.

La falta de cultivares con buenas características agronómicas, particularmente buena producción invernal y anual, así como larga vida postcosecha, son algunos de los aspectos que impiden que el mercado de las heliconias se extienda (Jerez, 2007). Por lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron los siguientes;

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Inducir mutaciones en plantas de heliconia de tres cultivares (*Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata aristeguieta* cv. Tropics y *Heliconia latispatha* Bentham cv. Mexican Gold y *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Andrómeda) con diferentes dosis de radiación gamma para obtener nuevas variedades.

2.2 Objetivos particulares

Conocer el número cromosómico de los tres cultivares de heliconia en estudio.

Evaluar el efecto de diferentes dosis de radiación gamma con Cobalto⁶⁰ sobre distintos caracteres morfológicos de los tres cultivares de heliconia.

Determinar cuál de los cultivares evaluados es más susceptible a la radiación.

3 HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis general

La aplicación de radiación de rizomas con rayos gamma con Cobalto⁶⁰ permitirá inducir variabilidad genética a través de mutaciones que mediante selección se puedan obtener variedades de *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata aristeguieta* cv. Tropics, *Heliconia latispatha* *Bentham* cv. Mexican Gold y *Heliconia psittacorum* L. f. cv. Andrómeda, con características de interés comercial.

3.2 Hipótesis particulares

No hay diferencias en el número de cromosomas entre cultivares.

La radiación inducida con Cobalto⁶⁰ provoca cambios en las características morfológicas originales de las distintas especies de heliconia en estudio.

El grado de mejoramiento genético al que han sido sometidos los cultivares originales influye en la susceptibilidad a la radiación, siendo *Heliconia latispatha* *Bentham* cv. 'Mexican Gold' la más sensible, por ser nativa.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Características generales de las heliconias

Taxonómicamente las heliconias se han clasificado dentro del reino vegetal; división: monocotiledónea (Liliopsida); subclase: Zingiberidae; orden: Zingiberales; familia: Heliconiaceae; género: *Heliconia* (Berry y Kress, 1991).

El género *Heliconia* presenta de 225 a 250 especies en el mundo; Colombia es el país que mayor número de especies tiene (aproximadamente 93). La heliconia es el único género de la familia de las Heliconiáceas, que es miembro de un gran orden botánico llamado Zingiberales. Hay varias características que hacen de éste un orden de fácil reconocimiento; entre ellas destacan las hojas largas e inflorescencias grandes de colores vistosos (Jerez, 2007).

Las heliconias son plantas herbáceas de tamaño variable que pueden crecer hasta 12 m de altura, con un sistema radical rizomatoso que emite brotes o vástagos, los cuales están compuestos por pseudotallos formados por las bases de las hojas superpuestas (vainas); presentan variación en textura y color desde verdes hasta café rojizos o moteados, son escamosos, aceitosos, glabros o pubescentes (Kress *et al.*, 2004).

4.1.1 Hojas

Las hojas están compuestas por el pecíolo y la lámina, colocadas en posición dística. De acuerdo al tamaño y a la disposición de éstas, se pueden identificar tres hábitos de crecimiento: musoide, cuando las hojas están en posición vertical y con pecíolos muy largos; zingiberoide, con hojas en la mayoría de los casos, sésiles y dispuestas en forma más o menos horizontal; y canoide, cuando la hojas presentan pecíolos medianos y se disponen oblicuamente. El pecíolo que sostiene a la lámina, igual que el pseudotallo varía en tamaño y color. Las hojas están compuestas por el pecíolo y la lámina, la cual tiene una nervadura central de color variable, con una concavidad que continúa al pecíolo, su función es conducir agua al pseudotallo (Kres *et al.*, 2004).

4.1.2 Inflorescencia

Las inflorescencias resultan extremadamente interesantes y llamativas, poseen las características morfológicas más importantes para clasificar las especies. En la mayoría de las especies de heliconia la inflorescencia es terminal emergiendo hacia el ápice del pseudotallo; sin embargo, en ocasiones pueden originarse desde un vástago basal sin hojas. Pueden medir de 20 a 50 cm de longitud, la inflorescencia es una cima terminal helicoide erecta (encima de las hojas o entre ellas) o péndula. Está formada por un pedúnculo y estructuras modificadas en forma de hoja, llamadas brácteas cincinales, distribuidas a lo largo de un raquis rígido o flexible, en forma dística o espiral con ángulo de inserción variable. Dentro de cada bráctea hay un número variable de flores hermafroditas dispuestas en forma alterna a lo largo del eje y cada una protegida por una bráctea floral (Berry y Kress, 1991).

De acuerdo con Buchner (1995) las inflorescencias pueden aparecer todo el año, como sucede en *Heliconia psittacorum*, o por temporada en la mayoría de las especies. Las flores son hermafroditas, contienen un estambre estéril (estaminodio) y cinco funcionales, tres carpelos; el pistilo está formado por el ovario, el estilo y el estigma.

Las heliconias tienen inflorescencia terminal con brácteas grandes, dísticas o aquilladas en forma de barco y usualmente bien separadas, cada bráctea sostiene y encierra casi completamente un monocacio compacto de pocas flores. La estructura exótica y el colorido de las brácteas de estas inflorescencias constituyen el principal atractivo ornamental de las heliconias, ya que las verdaderas flores y brácteas florales (blancas, verdes o pálidas) sólo a veces contribuyen a su valor estético, pero la mayoría son poco vistosas (Jerez, 2007).

4.1.3 Fruto

El fruto de la heliconia es una drupa poco carnosa, que contiene de una a tres semillas, posee un endocarpio muy duro, son desnudas y al madurar contienen un embrión no diferenciado, lo que favorece la germinación en épocas desfavorables y a su vez, puede ser el responsable del retraso de la germinación (Némiga, 1997; Berry *et al.*, 1994).

4.1.4 Propagación

Las heliconias se propagan usualmente a través de las yemas vegetativas presentes en el rizoma, los rizomas se dividen en secciones con uno a dos yemas, se eliminan todas

las raíces, los pseudotallos, se desinfectan con fungicidas y nematocidas. Aunque los rizomas pueden plantarse directamente en el suelo, es recomendable hacerlo en contenedores. Las heliconias pueden propagarse también por semilla (Jerez, 2007); no obstante, este sistema apenas se usa para producción, porque no garantiza el mantenimiento de las características del cultivar y además la germinación suele ser muy lenta (tres meses a tres años) y pobre (Criley, 1988a).

4.2 Importancia del cultivo

Las flores tropicales han tenido un importante auge comercial, especialmente en el mercado europeo, donde su interés y consumo han permitido que se desarrollen zonas de cultivo que han generado en varios lugares del mundo, oportunidades de desarrollo en el sector agrícola para la población rural (Orozco y Chavarro, 2005). Además, es alta la apreciación del potencial hortícola de las heliconias ya que son importantes como flores de corte, maceta y ornamentales de paisajes (Berry y Kress, 1991).

En la actualidad, la demanda de heliconias como planta ornamental se ha incrementado notablemente, tanto a nivel nacional como internacional, y sin lugar a dudas, hoy en día su cultivo se ha convertido en un factor de importancia en la economía agrícola de muchos países. Un aspecto relevante de las heliconias es que son utilizadas para el ornato de parques y jardines, también como flores de corte y para follaje. Su cultivo se ha visualizado con potencial para la producción de rizomas certificados con fines de exportación (Jerez, 2007).

Además del valor económico que han ganado las heliconias, son importantes como protectoras de fuente de agua e imprescindibles en la reforestación. Por otro lado, el crecimiento rizomatozo, contrarresta los movimientos de tierra en laderas erosionadas, lo que les proporciona un importante valor ecológico.

Este tipo de flores poseen buen precio unitario por su larga vida en florero, su tamaño, formas exóticas y colores. Los principales clientes son los decoradores de interiores y las floristerías; sin embargo, hay evidencia de que los grandes consumidores son las instituciones y empresas (hoteles, restaurantes, clínicas, bares, bancos, oficinas, edificios residenciales, etc.) que han visto en las heliconias una imagen innovadora para adornar sus espacios con bajas inversiones. Por tal motivo, el mercado corporativo se convierte en el mayor potencial comprador de flores de heliconia en la actualidad (Orozco y Chavarro, 2005).

Las principales áreas productoras de heliconias para flor cortada se sitúan en Hawai, Florida, Costa Rica, Honduras, Colombia y Puerto Rico. Sus principales mercados son Estados Unidos, Canadá, y Europa. Otros países como Brasil y Venezuela empiezan a interesarse también en la producción de heliconias. En el Pacífico y el Sudeste Asiático, el cultivo se ha desarrollado en Singapur y Tailandia, así como en Filipinas, Malasia y Taiwán, con vistas a exportar a Estados Unidos y Japón (Criley, 1991b; López, 2009).

Los principales países importadores de flores tropicales son Estados Unidos, Holanda, Rusia, Canadá, Alemania e Italia, entre otros. Sin embargo, Alemania, Francia, Reino Unido e Italia son los principales centros consumidores de Europa (Fundación ALTROPICO, 2005).

4.3 Distribución

El género *Heliconia* tiene alrededor de 250 especies identificadas, en su mayoría endémicas u originarias de regiones tropicales de Latinoamérica (Baltazar *et. al.*, 2011). Distribuidas principalmente en el neotrópico (Berry y Kress, 1991).

Las heliconias son nativas de los trópicos americanos, desde el trópico de cáncer en el centro de México, hasta el trópico de capricornio en Sudamérica, incluyendo el Caribe. La mayoría de las especies habita en regiones húmedas o mojadas pero algunas se encuentran por temporada en áreas secas. Aunque las heliconias obtienen su crecimiento vegetativo más evidente en los trópicos de tierras bajas húmedas con elevaciones desde los 200 hasta los 1500 msnm. El mayor número de especies se encuentra en elevaciones medias de bosque nuboso, pero pocas especies ocurren por encima de los 2000 msnm (Baltazar *et. al.*, 2011).

Las especies de heliconias nativas de México son: *H. adflexa* Grigs Standl, *H. arauntiacae* Ghiesbr, *H. bihai* L., *H. bouergeana* Petersen, *H. champneiana* Grigs, *H. latispatha* Benth, *H. librata* Grigs, *H. mariae* J. D. Hooker, *H. mooreana* R. R. Smith, *H. schideana* Klotzsch, *H. spissa* Grigs, *H. tortuosa* Grigs, *H. uxpanapensis* C. Gutiérrez-Báez, *H. vaginalis* Benth susp. *Mathiasiae* (G. S. Daniels y F. G. stiles) L. Anders, *H. wagneriana* Petersen (Gutiérrez, 2000).

En el estado de Veracruz se han registrado diversas especies de heliconias: *H. adflexa*, *H. bihai*, *H. borgaeana*, *H. collinsiana*, *H. latispatha*, *H. librata*, *H. schiedeana*, *H. spissa*, *H. tortuosa*, *H. vaginalis* (Sosa y Gómez, 1994).

4.4 Mejoramiento genético por mutaciones inducidas

La mutación inducida se ha aplicado con éxito para la mejora de varios cultivos. Los métodos de inducción de mutaciones más utilizados son las radiaciones ionizantes y las no ionizantes como los rayos X, α , β , γ , neutrones, protones y rayos ultravioleta, siendo estos últimos los de mayor eficacia en la inducción de mutaciones. También se han utilizado los choques térmicos como inductores de mutación; sin embargo su principal efecto es producir poliploidía y algunas anormalidades fisiológicas. Para que un agente mutagénico sea eficaz se debe tener en cuenta las características del material vegetal como: tipo de tejido, edad y constitución, el ciclo de división (a mayor actividad mitótica mayor sensibilidad a la radiación), número de cromosomas (a mayor número, menor sensibilidad) y el volumen nuclear; además de los factores externos como la temperatura y el contenido de agua (Cubero, 2003).

Hay dos corrientes de irradiaciones gamma, crónicas y agudas. A partir de 1960, se construyeron 14 centros de irradiación crónica en todo el mundo, no obstante, 13 de ellas fueron cerradas, y sólo una en Japón, ha funcionado durante casi medio siglo (Nagatomi y Deggi, 2009).

La Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) junto con la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), han recogido en un banco de datos, información sobre más de 3,000 mutaciones en diferentes especies; por ejemplo, en Kenia, a través de esta técnica se ha desarrollado una variante de trigo resistente a la sequía y en Vietnam, los expertos han conseguido modificar de esta manera varias especies de arroz para su adaptación a altas tasas de salinidad en el delta del Mekong (Novak y Brunner, 1992).

Se ha identificado que algunas variaciones en la morfología de la planta y características florales nuevas, son prerequisites importantes para la expansión de la industria de plantas ornamentales (Krishna, *et al.*, 1997), por lo que el desarrollo de nuevos fenotipos de plantas, incluyendo variaciones en la altura, el tamaño, la forma, el color de la flor, el ciclo de floración, el color de las hojas y la resistencia a enfermedades, podrían beneficiar ampliamente su proceso de comercialización (Deroles *et al.*, 1997).

Durante los últimos 30 años se han realizado numerosos trabajos en investigación para la mejora de diversas plantas ornamentales. El objetivo principal ha sido desarrollar variedades comerciales novedosas para la floricultura. Las plantas ornamentales son ideales para aplicar esta metodología de mejoramiento ya que después del tratamiento mutagénico algunos rasgos importantes pueden ser fácilmente monitoreados (Schum y Preil, 1998).

Se ha llevado a cabo un gran número de estudios en aspectos sobre mutagénesis en plantas ornamentales, mediante el uso de mutágenos físicos y químicos.

Alrededor de 70% de las variedades mutantes del mundo han sido inducidas a través de rayos gamma. Este tipo de irradiación ha permitido generar y liberar 76 nuevas variedades mutantes de diversas especies de plantas ornamentales, con cambios de color y forma de la flor, y reducción de clorofila en las hojas para producir follaje variegado (Datta, 2009). La radiación también se ha utilizado para obtener variaciones en el tamaño de la flor, tipo de inflorescencia, forma de la hoja y reducción de tiempo a floración (Broertjes, 1972). Por ejemplo, en el Kalanchoe, Stein y Sparrow (1963) estudiaron el efecto de la radiación gamma en el desarrollo de esta planta ornamental y obtuvieron diversas malformaciones en las estructuras de las hojas; sin embargo, no fueron de interés comercial.

Nazir y Ariffin (2002) encontraron que la dosis óptima para la inducción de mutaciones en *Alpinia purpurata* se encuentra entre 5 y 10 Gy en vitroplantas. Además, la radiación gamma indujo mutaciones en la coloración roja de las brácteas mutándolas a color rosado, conjuntamente identificaron mutantes con hojas variegadas y una planta arbustiva que después de 3 años en cultivo produjo flores.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del sitio experimental

El presente trabajo se realizó en el área experimental de Horticultura Ornamental del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados, en Veracruz, México, ubicado en las coordenadas 18°51' latitud norte y 96°55' longitud oeste, a una altura de 720 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2013). El clima predominante es templado-regular, con temperatura media anual de 22.5 °C, con lluvias abundantes en verano y a principios del otoño, con lloviznas en invierno; su precipitación media anual es de 1,807 milímetros. La determinación del número cromosómico se realizó en el Laboratorio de Citogenética del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

5.2 Determinación del número cromosómico

5.2.1 Material biológico

Se seleccionaron cinco rizomas libres de enfermedades de tres variedades de heliconia: *H. psittacorum* L. f. cv. Andrómeda, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata aristeguiata* cv. Tropics y *H. latispatha Benth* cv. Mexican gold obtenidas del banco de germoplasma de heliconia del Campus Córdoba del Colegio de Postgraduados. Dichos rizomas fueron colocados en sustrato “cosmo pead[®]”, más vermiculita en proporción 1:1 y trasladados al Laboratorio de Citogenética. Una vez en el laboratorio

se mantuvieron en el mismo sustrato húmedo y aislado de la luz, para favorecer la diferenciación y el desarrollo de raíces, las cuales fueron colectadas para determinar el número cromosómico.

5.2.2 Preparación de muestras

Una vez que las raíces presentaron una longitud mínima de 3 cm, fueron removidas del rizoma e inmediatamente colocadas en un frasco con colchicina 0.5 % más 8-hidroxiquinoleína 0.002 M adicionado con dietil metano sulfonato (una gota por cada 100 ml de solución) durante 4 h para los cultivares de 'Andrómeda' y 'Tropics', y 3.5 h para 'Mexican Gold'. Todas las raíces fueron protegidas de la radiación solar; este procedimiento se realizó para lograr la acumulación de cromosomas metafásicos. Una vez transcurrido el periodo señalado, las raíces se transfirieron a una solución Farmer 3:1 (alcohol 96°: ácido acético glacial concentrado) para la fijación del tejido. Para la obtención de buenas preparaciones citogenéticas en vegetales, es fundamental realizar el tratamiento de hidrólisis para debilitar la pared celular; por lo cual, las raíces fueron sometidas a un proceso para hidrolizar la pared celular con ácido clorhídrico (HCl) 1 N a 60° C, durante 10 minutos. Al finalizar este tiempo, las raíces se enjuagaron y se expusieron al reactivo de Fielgen a 60 °C durante 15 minutos, con el fin de acelerar la tinción de los cromosomas.

Después, los segmentos de raíz se expusieron a la acción enzimática de la celulasa durante 40 minutos, para degradar la pared y lograr la dispersión de los cromosomas.

5.2.3 Recuento de cromosomas

De los ápices de las raíces tratadas se removió un segmento de aproximadamente 1 mm de longitud y se colocó sobre un portaobjetos agregándole una gota de orceína para colorear los cromosomas; la preparación se cubrió con un cubreobjetos y se presionó suavemente con los dedos pulgares dando ligeros golpes para lograr una mejor distribución de las células disociadas. Las preparaciones obtenidas se observaron al microscopio para localizar células con la pared celular degradada y los cromosomas dispersos, en ellas se realizó el recuento de los mismos, finalmente se fotografiaron 20 células para su análisis y determinación del número de cromosomas, en cada cultivar.

5.3 Efecto de diferentes dosis de radiación gamma

5.3.1 Material biológico

Se utilizaron rizomas de tres especies de heliconia: *H. psittacorum* L. f. cv. Andrómeda, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata aristeguiata* cv. Tropics y *H. latispatha* Bentham cv. Mexican Gold con las características que se describen en el Cuadro 1, las cuales fueron cultivadas en el área experimental de Horticultura del Campus Córdoba.

Cuadro 1. Características de las tres especies de heliconia utilizadas en el estudio de mutaciones inducidas.

Especie/cultivar	Procedencia	Tiempo de cultivo*	Características
			Progenitor de diversos híbridos interespecíficos.
<i>H. psittacorum</i> Lf. cv ' Andrómeda'	Empresa turística Tropical World	20 años	Se presume ser nativa de México (Santos <i>et. al.</i> , 2009) Se desconoce el origen del cultivar
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata aristeguiata</i> cv. Tropics	Empresa turística Tropical World	10 años	Producción de inflorescencias todo el año Alta demanda en el sector florícola Baja producción de inflorescencias.
<i>H. latispatha</i> Bentham cv. Mexican Gold	Nativa	No es cultivo comercial	Producción estacionaria de inflorescencia Origen mexicano Poca o escasa investigación de este cultivar

*Tiempo de cultivo en la zona centro de Veracruz.

Plantas de las tres especies de heliconia se cosecharon el 23 de agosto de 2010, éstas se cortaron a una altura de 20 cm del pseudotallo. Inmediatamente después se sumergió la zona del corte en una solución de fungicida (Captan[®], 1 g/L⁻¹) durante 5 minutos, posteriormente los rizomas se lavaron y se removieron las raíces con ayuda de tijeras de podar, para después determinar el peso fresco del rizoma, longitud y número de yemas visibles y diámetro del mismo.

5.3.2 Aplicación de tratamientos

Los rizomas cosechados se trataron con radiación gamma el día 30 de abril de 2010 en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ubicado en la Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, Municipio de Ocoyoacác, Edo. de México. La irradiación se llevó a cabo con un irradiador Gamma Cell 2000, utilizando como fuente de radiación Cobalto⁶⁰. Los rizomas fueron irradiados con 11 dosis de rayos gamma, desde cero grays (Gy) (testigo) hasta 30, en incrementos de 3 Gy. Se irradiaron 10 rizomas para cv. 'Mexican Gold' y cv. 'Tropics' y 20 rizomas para cv. Andrómeda por cada nivel de radiación. Posteriormente, el material vegetal fue enviado al Campus Córdoba para su cultivo y evaluación.

5.3.3 Siembra del material

A) Vivero

El 30 de abril de 2010 los rizomas irradiados se plantaron en bolsas plásticas negras de 20 cm de alto y 20 cm de largo las cuales contenían composta como sustrato; las plantas se mantuvieron bajo sombra (50 %) durante todo el periodo de evaluación; previo a la siembra se registró el peso fresco de cada rizoma (Figura 1). Durante tres meses, a intervalos de quince días, se evaluaron: días a la aparición del primer brote, número de brotes por rizoma, altura de cada brote, largo y ancho de hojas por brote para determinar el área foliar, porcentaje de brotación y porcentaje de sobrevivencia de brotes, ambos al final de la etapa de evaluación.



Figura 1. Rizomas de heliconia irradiados con rayos Gamma al momento de establecerse en el vivero de heliconia.

B) Campo

Para el establecimiento en campo en agosto de 2010, se seleccionaron visualmente tres plantas por cada dosis de radiación, las cuales habían desarrollado brotes y eran vigorosas. La siembra se llevó a cabo en parcelas de 2.20 m de largo por 1.80 m de ancho con una distancia de 1.10 m entre plantas, con tres repeticiones por parcela. El cultivo se estableció bajo sistema de riego por goteo y acolchado plástico de color blanco/negro (Figura 2, Cuadro 2).



Figura 2. Establecimiento en campo de plantas de heliconia irradiadas.

Cuadro 2. Características del suelo del área de estudio obtenido del análisis realizado en el laboratorio de Física de Suelos del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Junio de 2006.

Análisis	Método de análisis	Resultado
pH	1:2 H ₂ O	7.3
CE	1:5 H ₂ O mmhos/cm dS m-	0.16
M.O. (%)	Walkley Black	4.8
N*	%	0.24
P	Olsen (ppm)	45
K	NH ₄ Oac 1 N pH 7 meq/100g (cmoles+Kg ⁻¹)	1.6
Textura %	Arena	23
	Limo	29
	Arcilla	48
Textura	tacto	arcillo-arenoso

Tres meses después de que los rizomas se establecieron en el campo, se evaluó el número de brotes, altura y número de hojas, con una periodicidad de 15 días durante 3 meses, obteniendo de este modo la generación M1.

5.4 Radiación recurrente (M2)

El 4 de Marzo de 2012 se obtuvieron rizomas de las plantas crecidas en el campo que sobrevivieron a la primera radiación (M1), los rizomas fueron expuestos nuevamente a las mismas dosis de radiación, para determinar la dosis que pudiera generar mutaciones. La preparación de los rizomas y su manejo fueron similares a lo que se utilizó en la primera irradiación, obteniendo de ese modo la generación M2 y posteriormente, siguiendo el mismo procedimiento, la generación M3.

En el periodo de vivero las variables evaluadas fueron: número de brotes por rizoma, número de hojas por planta, altura de planta, área foliar y porcentaje de sobrevivencia; en cada generación.

5.5 Caracterización agromorfológica de las generaciones M1 y M2

Las plantas de las generaciones M1 y M2 de los tres cultivares de heliconia se caracterizaron morfológica y agronómicamente en el campo, de acuerdo con los descriptores propuestos por Moreno (2005) (Cuadro 3). Para cada dosis se

consideraron las plantas de tres cepas, de las cuales se describieron las características (descriptores) de seis inflorescencias.

Cuadro 3. Caracteres evaluados en las inflorescencias de las generaciones M1 y M2 de tres cultivares de heliconia (Moreno, 2005).

No.	Carácter	Calificación	Estado
1	Longitud del pseudotallo		cm
2	Variegación de la hoja	1	Presente
		2	Ausente
3	Pruina pseudotallo	1	Presente
		2	Ausente
4	Pruina inflorescencia	1	Presente
		2	Ausente
5	Condición de la planta	1	Pequeña (25-150 cm)
		2	Mediana (150-200 cm)
		3	Grande (> 200 cm)
6	Longitud de la inflorescencia		cm
7	Número de brácteas por inflorescencia		Número
8	Largo de brácteas		cm
9	Ancho de brácteas		cm

Continúa cuadro 3...

No.	Carácter	Calificación	Estado
10	Número de flores por bráctea		Número
11	Vida de florero de inflorescencia		Días
12	Filotaxia de inflorescencia	1	Helicoidal
		2	Dística
		3	Subdística
13	Forma de inflorescencia	1	Oblonga
		2	Irregular
14	Aspecto de la bráctea basal	1	Igual a las otras brácteas
		2	Elongada y semejante a una hoja
15	Color de brácteas (De acuerdo con la escala de las Cartas de Color de Horticultura)	1	Naranja-rojo 34a
		2	Naranja-rojo 34A en la base, de la mitad a punta Naranja-rojo 34D con infusión de Naranja 25 D
		3	Naranja 34A en la base, de la mitad a la punta rojo 44A

Continúa cuadro 3...

No.	Carácter	Calificación	Estado
		4	Rojo 34 B
		5	Naranja 24 B en la base, de la mitad a la punta naranja-rojo 34N
		6	Naranja 25B en la base, de la mitad a la punta naranja-rojo 24B
		7	Naranja N25C en la base, de la mitad a la punta naranja-rojo 35
		8	Naranja N25B en la base, de la mitad a la punta rojo 42C
		9	Naranja 25B en la base, de la mitad a la punta naranja-rojo N34C, con orilla de las brácteas hacia afuera
		10	Naranja 25 B en la base, naranja-rojo 35A en la parte distal
		11	Naranja 25A en la base , punta verde

Continúa cuadro 3...

No.	Carácter	Calificación	Estado
		12	Naranja N25B de la base a la mitad, punta verde
		13	Naranja 24A
		14	Naranja 28B
		15	Naranja 25B
16	Color de sépalos	1	Naranja 28 B, con bandas negro-verde en parte distal
	(De acuerdo con la escala de las Cartas de Color de Horticultura)	2	Naranja N25A con bandas verde-negro en parte distal
		3	Naranja 24 A en base con bandas negra-verde en parte distal
		4	Naranja 25 B con bandas negro-verde en parte distal
		5	Naranja 25B
		6	Amarillo-naranja 23B con áreas negro-verde en parte distal sin banda definida

Continúa cuadro 3...

No.	Carácter	Calificación	Estado
		7	Amarillo-naranja 21C con bandas verdes en parte distal
		8	Amarillo-naranja 25B con bandas gris-verde en parte distal
		9	Amarillo en la base con bandas verde-negro en parte distal
		10	Verde 139C
17	Postura del raquis	1	Recto
		2	Flexuoso
18	Color de raquis	1	Naranja-rojo 34A
	(De acuerdo con la escala de las Cartas de Color de Horticultura)	2	Naranja 34 B
		3	Naranja 28A
		4	Naranja-rojo 34 B
		5	Naranja 24B
		6	Naranja 28B

Continúa cuadro 3...

No.	Carácter	Calificación	Estado
		7	Naranja C
		8	Naranja 25 A
		9	Verde 139C
		10	Amarillo-verde 159C
		11	Naranja N25 B parte más próxima a la bráctea, amarillo-verde 144D parte distal a la bráctea
		12	Amarillo-verde variegado
		13	Verde 139C
19	Posición de la primera flor de la cima	1	Dextrorsa
		2	Sinestrorsa
20	Indumento de sépalos	1	Glabra
		2	Pilosa

5.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizó un diseño completamente al azar con 11 tratamientos y 10 rizomas para la *H. psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* cv. 'Tropics.', y *H. latispatha* Bentham cv. 'Mexican Gold' y 20 rizomas para *H. psittacorum*. L. f. cv. 'Andrómeda', por cada tratamiento.

Se hicieron análisis de varianza para determinar grupos homogéneos y significativamente diferentes a un nivel de 5.0 %; se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan. Para determinar la dosis letal se trazó una regresión lineal con los datos de sobrevivencia. Además de realizar una comparación de medias por contrastes entre las generaciones de radiación recurrente. El procesamiento de los datos se hizo con el paquete estadístico SAS V9. Además, se realizaron curvas de frecuencia utilizando el programa Excel Windows 2010.

Para los datos de los caracteres morfológicos se realizó un análisis de conglomerados utilizando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics V20.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Determinación del número cromosómico de los cultivares

El número de cromosomas de alrededor del 25 % de las plantas del grupo de las Angiospermas ya se conoce (Bennett, 1998).

Cuando en una especie se hace mejoramiento genético, es fundamental conocer e identificar las características de la especie con la que se trabaja, ya que de no hacerlo se pueden tener limitantes para lograr los objetivos. La falta de conocimiento citológico básico impide una adecuada evaluación de la biodiversidad de regiones particulares, y por lo tanto, dificulta dilucidar el origen de la flora y comprender la estructura y dinámica actual de la vegetación (Arroyo *et al.*, 1993).

Se han realizado diversos estudios utilizando técnicas moleculares para determinar algunas características morfológicas en el género heliconia, los cuales han evidenciado la gran diversidad de especies, variedades, híbridos y cultivares de este género; sin embargo, el conocimiento del cariotipo de heliconia es importante para el establecimiento de programas de mejoramiento genético y la obtención de nuevos genotipos de mayor valor comercial. Ya que el tipo de radiación a aplicar con frecuencia va ligado al número de cromosomas, pues a mayor número, menor sensibilidad tendrá el tejido a la radiación (Cubero, 2003).

En heliconia existen escasos reportes de estudios citogenéticos, Criley y Broschat (1992) señalan que varias especies de este género poseen un número cromosómico constante de $2n = 24$. Por su parte, Kaemwong y Eksomtramage (1998), reportan el

número cromosómico de diversas especies y cultivares del género *Heliconia* como *Heliconia metallica* Planchon y Linden ex Hooker y *H. wagneriana* Petersen cv. Rainbow las cuales tienen $2n = 22$; mientras que *H. rostrata* Ruiz & Pavón, *H. caribaea* Lamarck cv. Purpurea, *H. latispatha* Bentham cv. Rojo-Amarillo Gyro, *H. psittacorum* Lf cv. Rubra, *H. psittacorum* L.F. cv. Perico, *H. psittacorum* L.F. cv. Lady Di, *H. psittacorum* L.F. cv. Sassy, *H. psittacorum* L.F., *H. stricta* Huber cv. Jamaica Enano, *H. psittacorum* L.F. x *H. spathocircinata* Aristeguieta cv. Antorcha de Oro y el cv. Antorcha de Oro Adrian poseen $2n = 24$ y finalmente *H. densiflora* Verlot cv. Fuego Flash la cual posee $2n = 36$.

La exposición de los ápices de los tres cultivares de heliconia a la colchicina durante distintos periodos (4, 5, 6, y 7 h), permitió observar que para los cultivares 'Andrómeda' y 'Tropics' el tiempo idóneo de exposición fuera de 4 h, pues con mayor tiempo de exposición la cantidad de células en división fue escasa; sin embargo, para *Heliconia latispatha* el tiempo ideal se ubicó a las 3.5 h de exposición, notándose el mayor número de células en división, respecto a los otros dos cultivares. Además, la colchicina 0.5 % adicionada con 8-Q, hidroxiquinoleína 0.002 M más 1 gota de Dimetil Metano Sulfonato resultó más efectiva que la hidroxiquinoleína sola, debido a que estos agentes provocaron una mayor permeabilización de la membrana celular y por lo tanto, una mayor difusión, logrando obtener más células disociadas. No obstante, no es recomendable exponer los ápices por tiempos prolongados ya que se corre el riesgo de inducir poliploidización y con menor tiempo no permite la acumulación de células en metafase.

Aun cuando se probaron diversos tiempos de hidrólisis ácida con HCl no se logró degradar por completo la pared celular. Es importante que la concentración del ácido y el tiempo de exposición sean los adecuados pues con tiempos y concentraciones menores, se corre el riesgo de no lograr la degradación de la pared celular o al contrario, concentraciones mayores pueden provocar alteraciones en las estructuras celulares. Por tal motivo, se procedió a realizar una hidrólisis enzimática con celulasa durante 40 min, la cual permitió mayor degradación de la pared celular, además de que se logró mayor disociación celular, mayor aclaramiento del citoplasma y mejor tinción.

El análisis citológico de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda', *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* Aristeguieta cv. 'Tropics' y *Heliconia latispatha* Benthall cv. 'Mexican gold', permitió saber que el número cromosómico para los tres cultivares fue de $2n = 24$ (Figura 3).

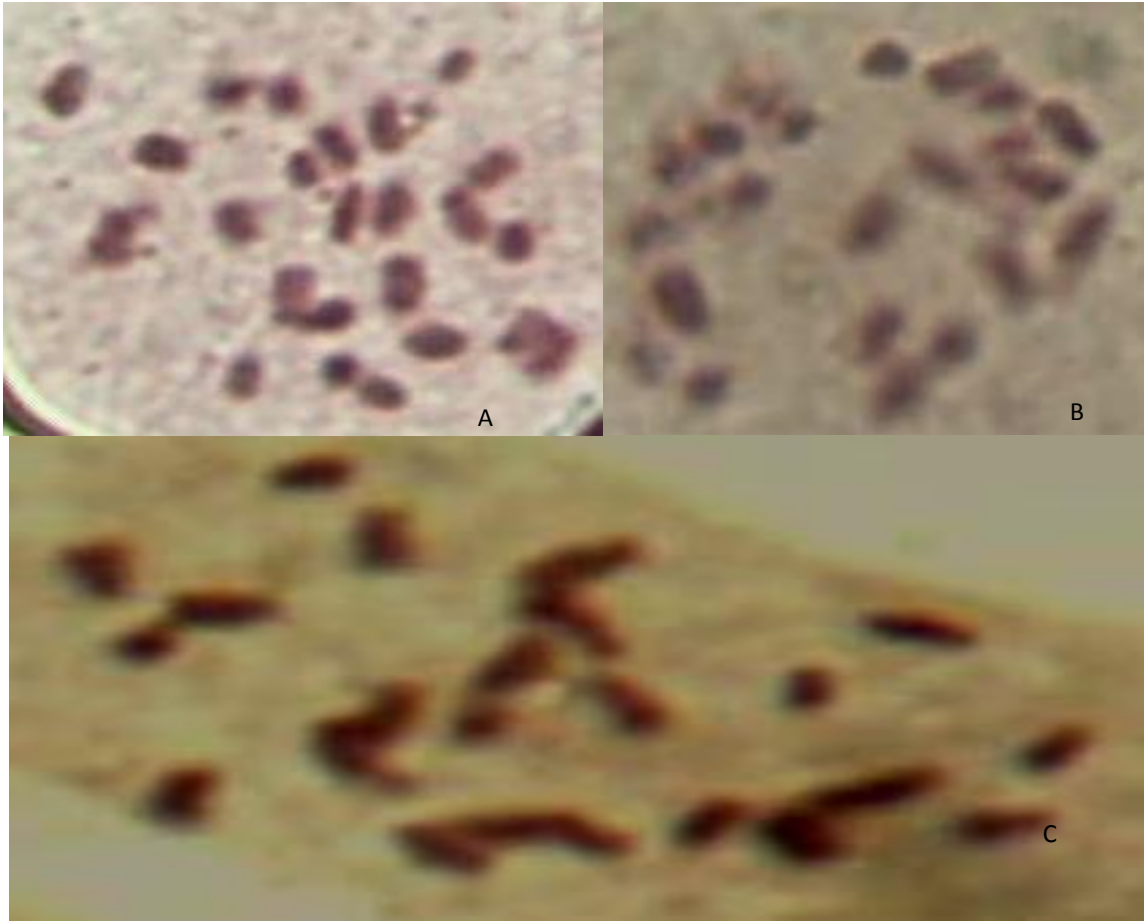


Figura 3. Fotografía de cromosomas de células de ápices de raíces de A) *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* Aristeguieta cv. 'Tropics', B) *Heliconia latispatha* Bentham cv. 'Mexican Gold', y C) *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda'.

Debido a los escasos reportes de análisis citológicos de heliconia, en México no se tiene claridad en su estructura, tamaño y número cromosómico, por tanto no existen puntos de comparación con los resultados obtenidos.

6.2 Efecto de las dosis de radiación gamma en tres cultivares de heliconia

a) *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* Aristeguieta cv. 'Tropics'.

Durante el periodo de evaluación en vivero se encontró que las variables evaluadas en el cultivar Tropics presentaron diferencias estadísticas altamente significativas entre los distintos tratamientos, excepto el número de brotes; por lo que se puede afirmar que las distintas dosis de radiación presentaron algún efecto sobre los días a brotación ($P=0.0042$), el número de hojas por brote ($P=0.0013$), área foliar ($P=0.0160$) y la altura del brote ($P=0.0014$) a los 90 días después de la radiación.

La aparición del primer brote se registró a los 25 días después de la aplicación de la radiación y fue en la dosis de 9 Gy; este tratamiento fue el de mayor precocidad al igual que el testigo (23 y 26 días, respectivamente). Los más tardíos brotaron hasta los 52 días (dosis de 27 Gy) y 51 días (dosis de 30 Gy) (Cuadro 4). Cabe mencionar que las dosis de 24 y 27 Gy, aun cuando mostraron bajos porcentajes de brotación (20 %), todos los brotes desarrollados lograron sobrevivir y se establecieron en campo (Figura 4).

El testigo presentó 60 % de brotación, al igual que las dosis de 3 y 6 Gy, conforme se aumentaron las dosis se presentó una disminución de brotación (Figura 4). Al respecto diversos autores han reportado resultados similares a los encontrados en este trabajo, Priya (2006) reporta que en *vigna radiata* (L.) la reducción de la germinación de semillas conforme se aumenta la dosis de radiación presentándose el menor porcentaje de

sobrevivencia se presentó a los 40 Kilorrads. También, Estrada (2011) en estudios de radiación de tubérculos de *Polianthes tuberosa* encontró que las plantas tratadas con 5 Gy presentaron un porcentaje de desarrollo de brotes igual que el tratamiento testigo (sin irradiar). Además, se observó una disminución en el área foliar a partir de la dosis de 9 Gy, pero las dosis de 3 y 6 Gy mostraron un área foliar similar al testigo.

Cuadro 4. Desarrollo de brotes irradiados de *Heliconia psittacorum* x *heliconia spathocircinata* Aristeguieta cv. 'Tropics' con Co⁶⁰ en vivero a los 75 días después de la radiación.

Dosis (GY)	Días a brotación	Número de brotes	Número hojas/brote	Área foliar	Altura (cm)
0	26.5cd	1.1a	3.6b	211.05a	60.80ab
3	39.5abcd	1.0a	4.25ab	152.73ab	58.75abc
6	28.8cd	1.2a	3.5b	157.74ab	62.75a
9	23d	1.0a	3.75bc	81.64ab	48.25abcd
12	40abc	1.0a	3bc	53.44b	32cde
15	38.25abcd	1.0a	3bc	85.04ab	35bcde
18	30.5cd	1.0a	4.3ab	50.65b	41abcd
21	36bcd	1.0a	1d	30.38b	9e
24	35.5bcd	1.0a	5a	92.9ab	46abcd
27	52.5a	1.0a	3.5b	43.42b	32.5cde
30	51ab	1.0a	2cd	18.89b	23de

Valores con diferentes letras presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Prueba de comparación de medias de Duncan.

En cuanto al número de brotes y número de hojas por brote no se encontraron diferencias significativas, por su parte el área foliar disminuyó conforme se aumentaron las dosis de radiación, la mayor área foliar se observó en el testigo que fue de 211 cm² y el tratamiento con área foliar más baja fue el de 30 Gy con 18.89 cm².

Durante el periodo de evaluación, en las dosis de 21, 24 y 30 Gy se observó la aparición de brotes que comenzaron a presentar marchitamiento en el ápice y finalmente murieron. Una respuesta similar fue observada por Castillo *et al.* (1997) en tubérculos de papa irradiados con una dosis de 70 Gy, detuvieron su crecimiento por necrosamiento de la yema terminal, provocando la muerte del brote.

Lo anterior permite inferir que las dosis de 21, 24 y 30 Gy resultaron ser tóxicas para la planta de heliconia.

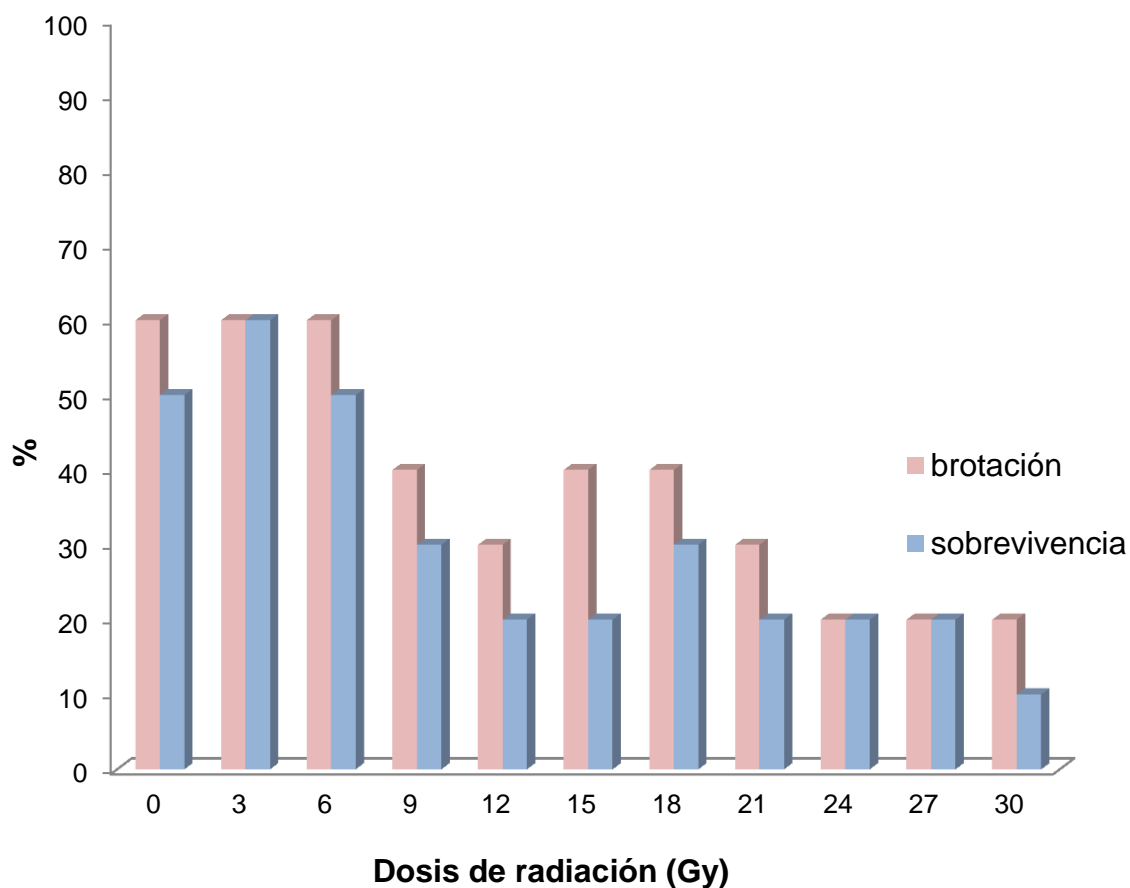


Figura 4. Efecto de diferentes dosis de radiación gamma sobre el porcentaje de brotación y supervivencia de brotes en *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* Aristeguieta cv. 'Tropics' en vivero.

Determinar la dosis letal media (DL_{50}) es de gran importancia para conocer la sensibilidad de los diferentes genotipos a la dosis crítica donde el mutágeno causa 50 % de mortandad.

La determinación de la dosis letal DL_{50} , fue calculada con base en la reducción del 50 % de la supervivencia de los rizomas irradiados en cada especie con respecto al testigo a los 75 días de evaluación.

Tomando en cuenta que el testigo sólo presentó 50 % de sobrevivencia, para el cv. 'Tropics', la DL_{50} se encuentra entre los 9 y 12 Gy, debido a la reducción del 50 % de la sobrevivencia de brotes con respecto al testigo y fue calculado con la fórmula de regresión $y = -1.5455x + 52.273$ (Figura 5). Se han reportado LD_{50} de 25.91 Gy en casos de *Polianthes tuberosa* después de cinco meses de cultivo (Estrada, 2011), y de 50 Gy en variedades de aguacate Duke y Hass (González *et al.*, 2007).

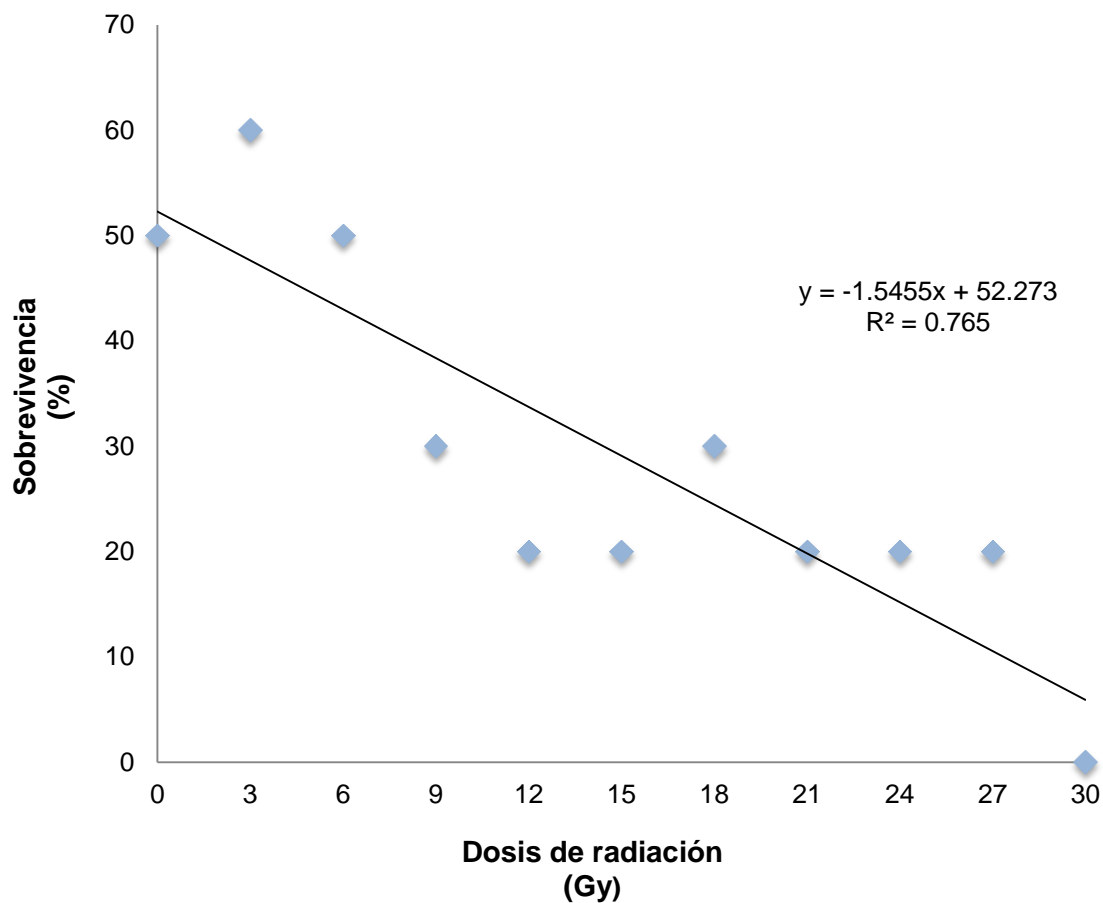


Figura 5. Dosis letal media en rizomas de *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* cv. 'Tropics' irradiados con rayos gamma.

b) *Heliconia latispatha* Benth. Cv. 'Mexican Gold'.

En cuanto a la respuesta de los rizomas irradiados del cultivar 'Mexican Gold', en el análisis de varianza se encontró que los rayos gamma tuvieron efecto sobre las variables: días a brotación ($P < 0.0001$), área foliar ($P = 0.0023$) y altura de brote ($P = 0.0199$) (Cuadro 5). Se puede observar que los días a brotación fluctuaron entre los 29 días (testigo) y 59 días (dosis 15 y 18 Gy). La dosis de 18 Gy igualó al testigo en el número de hojas por brote (3.6 hojas cada dosis), en cuanto al área foliar, también se registró una disminución conforme aumentaba las dosis de radiación de 151 cm^2 del testigo hasta 21 cm^2 de la dosis de 21 Gy. Los brotes provenientes de rizomas expuestos a bajas dosis de radiación fueron más vigorosos que los provenientes de dosis altas, reflejándose en su altura y en el número de hojas por brote. El comportamiento errático en la altura se debe al crecimiento normal de la planta debido a la capacidad de asimilación de nutrientes o a la eficiencia fisiológica del órgano para llevar a cabo sus funciones básicas, o bien por efecto de la radiación (Otaola, 2001).

Iqbal (1969) señala que la reducción del crecimiento de plántulas generadas a partir de semillas tratadas con dosis altas de radiaciones gamma, se debe fundamentalmente al daño ocasionado durante el proceso de división y alargamiento celular. Sin embargo, en este trabajo no se detectó un efecto positivo de la radiación sobre la altura de planta, ya que en el ligero incremento de la altura de planta, la dosis de 3 Gy no mostró diferencias significativas con respecto al testigo.

Cuadro 5. Desarrollo en vivero de brotes irradiados de *Heliconia latispatha* Bentham Cv. 'Mexican Gold' con Co⁶⁰, a los 90 días de evaluación.

Dosis (GY)	Días a brotación	Número de brotes	Número hojas/brote	Área foliar	Altura (cm)
0	29.5d	1.2a	3.6a	151.14a	61a
3	35.4bcd	1.1a	3.7a	137.25ab	66.57a
6	32cd	1.0a	2.5ab	124.42abc	46.75ab
9	37.5bcd	1.4a	2.8ab	107.84abc	51ab
12	33.1cd	1.0a	3.3a	128.12abc	51.80ab
15	59.2a	1.0a	2.8ab	55.93bcd	48.2ab
18	59.6a	1.0a	3.6a	60.26bcd	30bc
21	46.8bb	1.0a	1c	12d	11c
24	41.7bc	1.5a	1.5bc	43.57cd	30.50bc
27	42.7bc	1.0a	1.7bc	36.27cd	32.5bc
30	0	0	0	0	0

Valores con diferentes letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Prueba de comparación de medias de Duncan.

Un efecto provocado por la radiación es la potencialización en la expresión de algunos caracteres, por ejemplo, en la Figura 6 se puede observar que la dosis de 12 Gy igualó al testigo en cuanto a brotación y sobrevivencia (100 %), pero a partir de los 21 Gy la sobrevivencia fue disminuyendo hasta llegar a la total letalidad en la dosis de 30 Gy. Esta respuesta puede deberse al bajo nivel de mejoramiento en el proceso de selección al que se ha sometido este cultivar, ya que los productores lo consideran como

germoplasma nativo, por lo que la resistencia a la radiación fue más alta al compararlo con los otros cultivares evaluados en este trabajo.

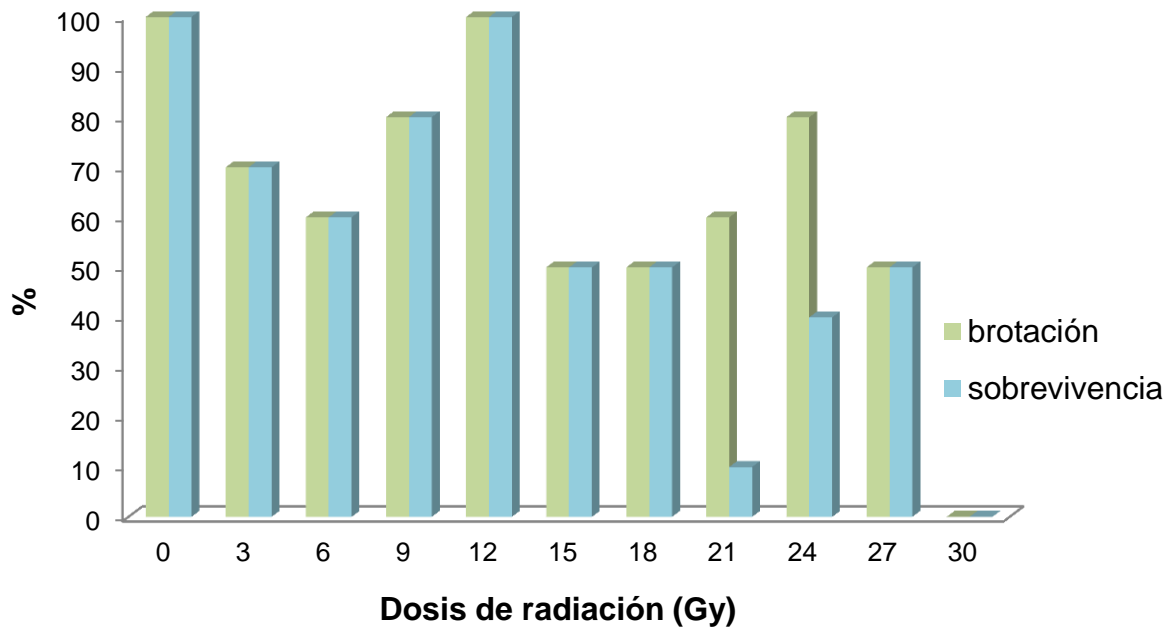


Figura 6. Efecto de diferentes dosis de radiación gamma sobre el porcentaje de brotación y supervivencia de brotes de *Heliconia latispatha* Bentham cv. 'Mexican Gold' en vivero.

La dosis letal media en el cultivar 'Mexican Gold' osciló entre 15 y 18 Gy (Figura 7). En variedades de tomate Amalia y Placero H, la dosis letal se determinó en 500 y 600 Gy, al registrarse efectos letales con reducción del 50 % de la supervivencia después de la germinación de las semillas irradiadas (Plana *et al.*, 1999). En contraste, para la variedad de papa 'Desireé' se obtuvo una dosis letal media de 12.5 Gy, (Veitía *et al.*, 2007). Por su parte, Fuentes *et al.* (2004) reportaron la DL_{50} en brotes de aguacate Duke y Hass de 28 y 27 Gy, respectivamente.

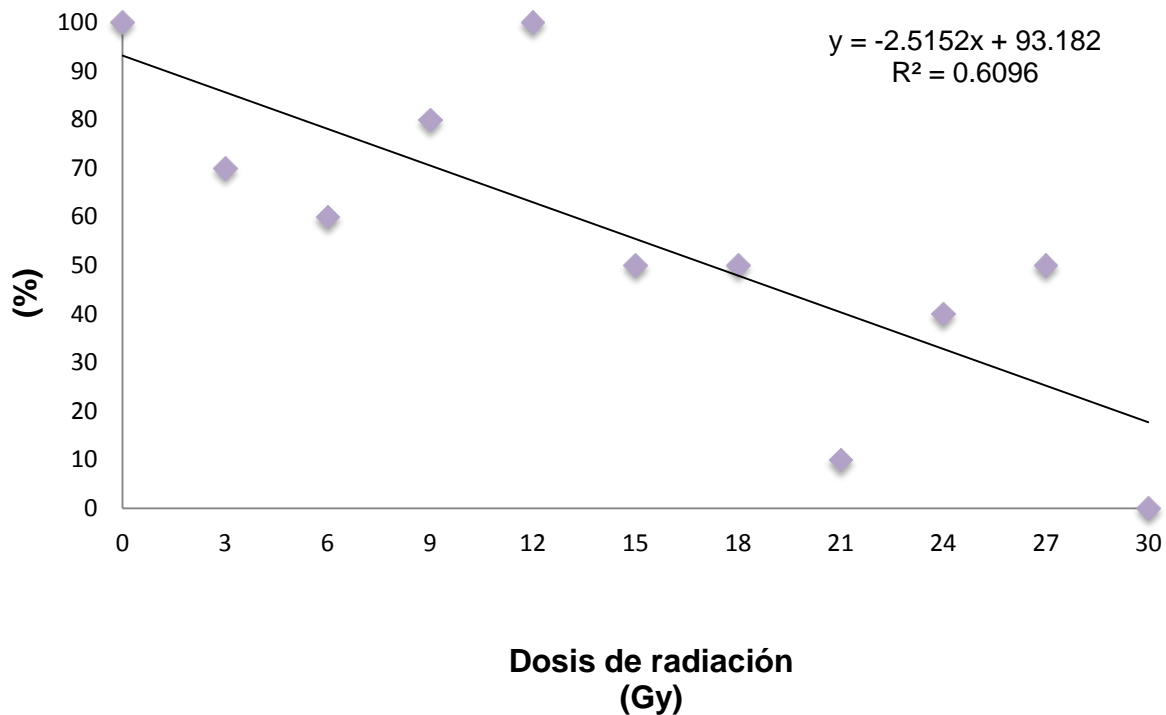


Figura 7. Dosis letal media en rizomas de *Heliconia latispatha* Bentham cv. 'Mexican Gold' irradiados con rayos gamma.

b) *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda'

En estudios previos (datos no mostrados), se realizaron pruebas de radiación en *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda', y se encontró que el tamaño de rizoma tuvo influencia en su respuesta a la radiación, ya que si éstos son muy delgados o con baja masa, soportan menos el traslado al centro de irradiación y esto se refleja en su desarrollo y en la viabilidad de las yemas, repercutiendo sustantivamente en el porcentaje de brotación y sobrevivencia de los rizomas.

En el cultivar 'Andrómeda' se encontraron diferencias significativas en las variables días a brotación (P=0.0001) y anchura de hoja (P=0.0095). El inicio en la aparición de brotes

se registró a los 20 días en la dosis de 27 Gy, igualando al testigo, y el final fue a los 60 días en la dosis de 24 Gy. En cuanto a la altura del brote se registraron diferencias significativas. La mayor altura se registró en el tratamiento de 9 Gy (46.2 cm) y la menor en el tratamiento de 21 Gy (5.5 cm); sin embargo, este tratamiento fue también uno de los más tardíos al iniciar la brotación a los 55 días después de la radiación. Además se observó una disminución en el área foliar conforme se aumentaron las dosis de radiación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Desarrollo en vivero de brotes irradiados de *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda', a los 90 días de evaluación.

Dosis (GY)	Días a brotación	Número de brotes	Número hojas/brote	Área foliar	Altura (cm)
0	29.3b	1.0a	3.6ab	56.74ab	32.6abc
3	32.5b	1.0a	4.25ab	41.07ab	33abc
6	24.2b	1.0a	4.5a	57.03ab	42.5ab
9	32.3b	1.0a	4.5a	60.03a	46.2a
12	23.6b	1.0a	3.8ab	52.84ab	38.60ab
15	31.7b	1.0a	5a	62.11ab	43ab
18	55.8a	1.0a	3.3ab	15.74ab	18.6bc
21	55a	1.0a	2b	4.5b	5.5c
24	60a	1.0a	3ab	11.38ab	15bc
27	0	0	0	0	0.
30	0	0	0	0	0

Valores con diferentes letras diferentes presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Prueba de comparación de medias de Duncan.

Los porcentajes de brotación y supervivencia en el testigo fueron más bajos que en la mayoría de los tratamientos; se ha mencionado anteriormente la especial atención que debe ponerse en este cultivar al momento de seleccionar los rizomas que se van a irradiar, si bien se manejó un peso promedio de los rizomas para todos los tratamientos (de 22 g por rizoma), los porcentajes de brotación y supervivencia en el testigo estuvieron muy por debajo de 50 %; por el contrario, en las dosis de radiación empleadas se registró un aumento en la brotación, respecto al testigo, aunque apenas se logró llegar al 35 %; sin embargo, se observó que los brotes emergidos murieron posteriormente, registrándose bajos porcentajes de supervivencia a los 90 días de evaluación en la mayoría de los tratamientos. No obstante en los tratamientos de 18, 27 y 30 Gy no se registró supervivencia de rizomas, siendo estos niveles de radiación tóxicos para este cultivar (Figura 8).

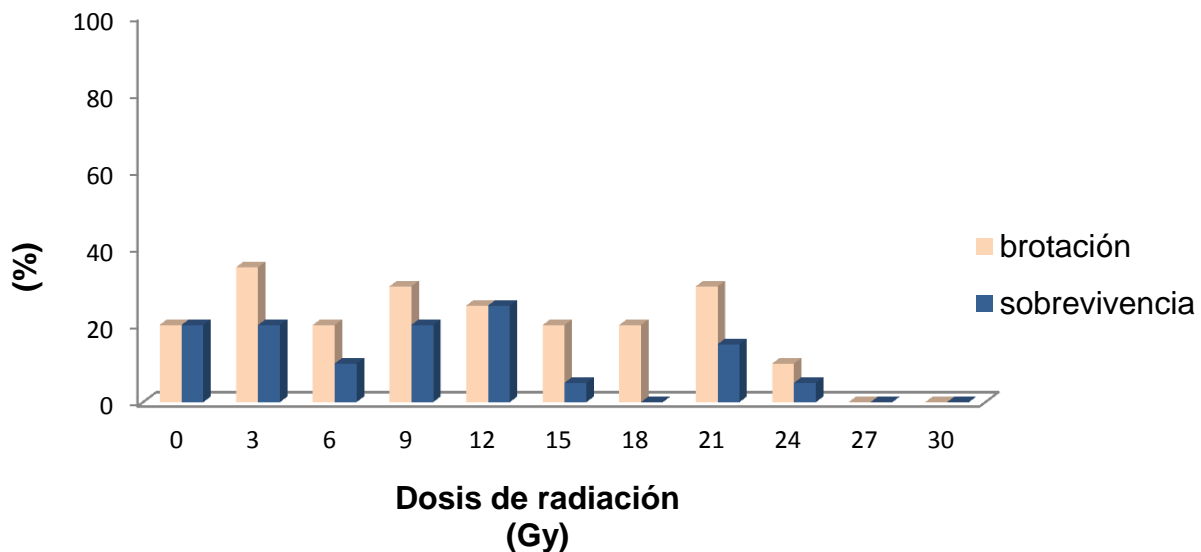


Figura 8. Efectos de diferentes niveles de radiación gamma, en el porcentaje de brotación y supervivencia, en rizomas de *H. psittacorum* Cv. 'Andrómeda' en vivo.

La selección de la dosis óptima de radiación podría hacerse empíricamente, pero como regla general la dosis del mutágeno debe llevar a la sobrevivencia de 40-60 % del material tratado, con respecto al no tratado, aunque el concepto de dosis útil dependerá ampliamente de los objetivos del mejoramiento (Pérez, 1998). Para el caso del cultivar 'Andrómeda' fue muy difícil determinar la dosis letal media, debido al comportamiento irregular del material, al menos en este trabajo; sin embargo, Urrea y Ceballos (2005) reportaron que callos embriogénicos de este cultivar irradiados con 30 Gy mostraban un porcentaje alto en la regeneración, además sugirieron que la dosis de 40 Gy era el nivel adecuado para inducir variabilidad genética en estos callos.

6.3 Efecto de la radiación gamma en generaciones M2 y M3

Los efectos fisiológicos provocados por las radiaciones ionizantes en semillas, se manifiestan primeramente en la germinación y el crecimiento de las plántulas, en correspondencia con las dosis de radiaciones absorbidas (González *et al.*, 2002 y Kang *et al.*, 2003).

Los análisis de contrastes realizados con los datos obtenidos durante la evaluación en vivero, de las generaciones de radiación recurrente, demuestran que la acumulación de mutaciones a través de las generaciones influyó principalmente en la altura de los brotes en los tres cultivares.

a) *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* cv. 'Tropics.'

Se presentaron diferencias significativas en el contraste entre las generaciones, así como entre los tratamientos de la generación M2 y los tratamientos de la generación M3 (Cuadro 7). Se observó un aumento en los días a brotación en la generación M3 en casi todos los tratamientos (0, 3, 6, 9, 12 y 21 Gy), lo que se considera como un efecto negativo de la radiación, ya que al incrementarse los días a brotación también se aumentan los costos de producción del cultivo, pues se retarda el tiempo de trasplante al campo. Por otro lado, la altura de la planta se modificó positivamente produciendo plantas más altas en la generación M3; tener plantas altas de heliconias es importante pues se favorece la producción de flores con el pseudotallo más largo, con mayores oportunidades para la integración de estas flores en los arreglos florales. Sin embargo, Cervantes *et al.* (1999) reportaron en cebada que la aplicación de radiación recurrente aumentó la altura de planta, lo cual se considera un efecto negativo para este cultivo, ya que aumenta la probabilidad de acame. Hasta el momento no se ha reportado que se presente el acame en heliconias, aún así en zonas de cultivo que presenten vientos fuertes o lluvias torrenciales, la altura excesiva debe tener especial atención si no se utilizan cortinas de viento.

Cuadro 7. Comparación de medias de variables morfológicas de brotes desarrollados en el cultivar 'Tropics' de las generaciones de radiación M2 y M3.

FV	GL	DB		NH		APL		AF	
		CM	DIF	CM	DIF	CM	DIF	CM	DIF
T0M2 vs T0M3	1	4873.9	27.5**	3.6	-0.8**	5.9	-0.9**	10406.3	-40.1**
T3M2 vs T3M3	1	7149.1	33.6**	6.3	-1.0**	3.5	-0.7**	10159.1	-40.6**
T6M2 vs T6M3	1	9584.5	37.9**	7.6**	-1.0	6.9	-1.0**	11381.5	-44.1**
T9M2 vs T9M3	1	2464.9	20.9**	0.6	-0.3	10	-1.3**	11845.1	-45.8**
T12M2 vs T12M3	1	5739.3	33.2**	0.6	-0.3	31.5	-2.4**	7690	-38.3**
T15M2 vs T15M3	1	140.0	4.7	0.02	0.06	1.5	-0.4	2863.4	-21.5**
T21M2 vs T21M3	1	3346.0	24.3**	0.4	-0.3	16.4	-1.7**	4010.8	-27.1**
T24M2 vs T24M3	1	1.7	-0.8	0.02	-0.03	11.5	-2.7**	286.4	-10.6
T27M2 vs T27M3	1	140.6	9.4	0.4	0.5	0.08	-0.2	136.9	-9.2

CM= Cuadrado de la media de contraste, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, DB= Días a brotación, NH= Número de hojas, APL= Altura de planta (cm), AF= Área foliar (cm²). Comparación de medias con contrastes al 0.05 de probabilidad. ** Pareja de medias con alta significancia.

Por otro lado, la sobrevivencia se vio incrementada en la generación M3 en diferentes dosis (Figura 9). El aumento en la sobrevivencia a las diferentes dosis de radiación se

puede atribuir a que se hizo selección considerando como criterios la altura de planta y el área foliar en la generación M2. Las dosis de radiación de 0, 3, 6, 9 y 12 Gy de la generación M3 superaron los porcentajes de sobrevivencia de la generación anterior, solo en las dosis de 24 y 27 Gy en la generación M3 se registraron bajos porcentajes de sobrevivencia (26.6 y 27 %, respectivamente). Esto puede deberse a que al ser dosis de radiación altas, provocan daños cromosómicos desde la generación M1; los cuales se acumularon con el transcurso de las generaciones y provocaron daños irreversibles que afectaron las funciones fisiológicas en las plantas. Además, los brotes de la dosis de 27 Gy presentaron hojas arrosetadas y bifurcadas que desaparecieron conforme se continuó el desarrollo.

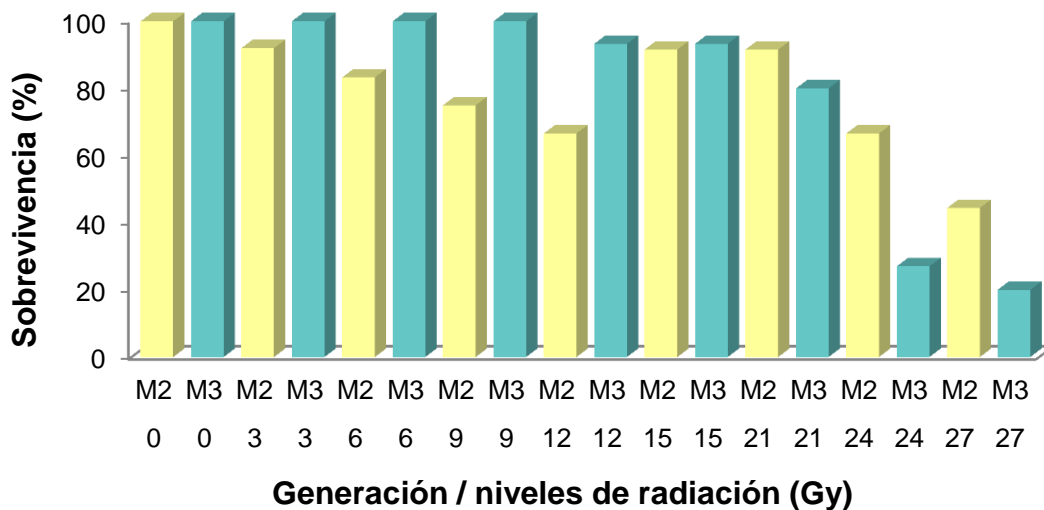


Figura 9. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en el porcentaje de sobrevivencia de las generaciones M2 y M3 del cultivar ‘Tropics’ en vivero.

A pesar de que la altura de planta de la dosis de 27 Gy en la generación M3 se incrementó no fue así con el área foliar, este hecho puede repercutir en la capacidad reproductiva del individuo, ya que al no tener suficiente follaje para la captación de

energía solar, no podrá sintetizar los nutrientes suficientes que requiere para realizar los procesos fisiológicos.

En la Figura 10 se puede observar que el área foliar está relacionada con la altura, y que conforme los niveles de radiación aumentan ambos caracteres en ambas generaciones (M2 y M3). Aunque las plantas de la generación M3 presentaron mayor altura tuvieron el mismo comportamiento que las de la generación M2.

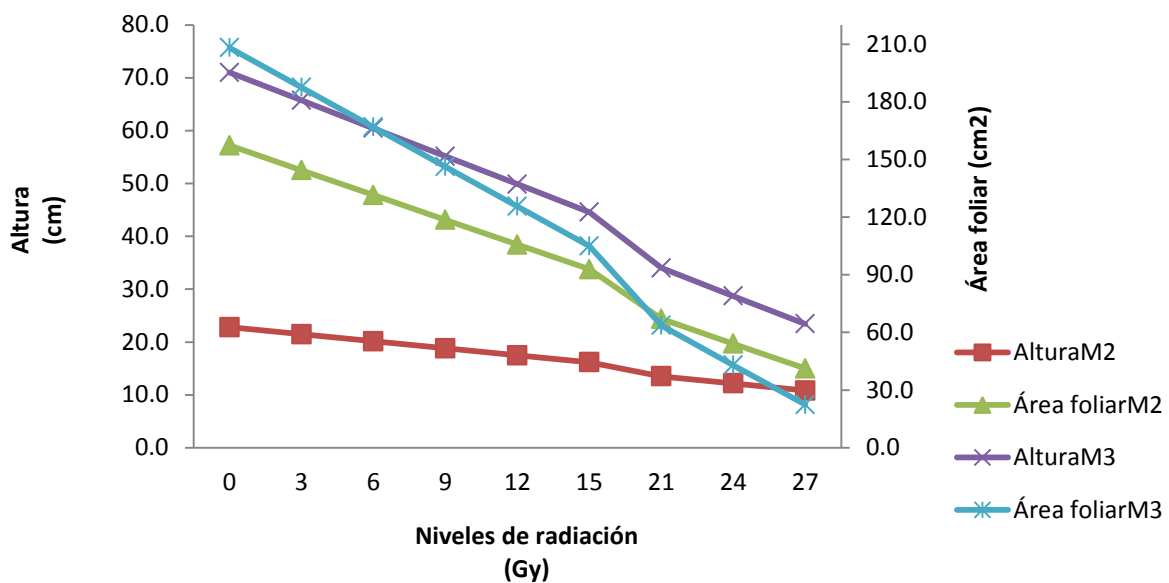


Figura 10. Altura y área foliar de planta de las generaciones M2 y M3 del cultivar ‘Tropics’ en vivero.

b) *Heliconia latispatha* Bentham cv. ‘Mexican Gold’

Se observaron diferencias significativas en los contrastes entre las generaciones M2 vs M3 para las variables días a brotación, altura de planta y área foliar (Cuadro 8). La

altura de planta se aumentó considerablemente al pasar de M2 a M3, esto puede atribuirse a que en la competencia a través de las generaciones se favorecieron las plantas más altas. Algo similar reportan Cervantes *et al.* (1999) en cebada, donde la radiación recurrente aumentó la altura de las plantas, considerado un efecto negativo para este cultivo.

Cuadro 8. Comparación de medias de variables morfológicas de brotes desarrollados del cultivar ‘Mexican Gold’ de las generaciones de radiación M2 y M3.

FV	GL	DB		NB		APL		AF	
		CM	DIF	CM	DIF	CM	DIF	CM	DIF
T0M2 vs T0M3	1	1531.6	18.9**	0.07	-0.1	1569.7	-19.2**	50160.5	-108**
T3M2 vs T3M3	1	3442.6	26.4**	0.01	0.05	4854.2	-31.3**	64264.5	-114**
T6M2 vs T6M3	1	838	14.9	0.06	-0.1	968.6	-16.1**	6358.5	-41.3
T9M2 vs T9M3	1	1218.4	21.4*	0.5	-0.4	816.6	-17.5**	10584.7	-63**
T12M2 vs T12M3	1	1020.2	17.3	0.4	-0.3	123.4	-6	274.6	-8.9
T18M2 vs T18M3	1	481.3	12.7	1.3	-0.6**	300	-10	2917.8	-31.2
T21M2 vs T21M3	1	752	31.7	0.2	0.5	420	-23.7	2456.4	-57.2

CM= Cuadrado de la media de contraste, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, DB=Días a brotación, NB= Número de brotes, APL= Altura de planta (cm), AF=Área foliar (cm²). Comparación de medias con contrastes al 0.05 de probabilidad. ** Pareja de medias con alta significancia.

En la generación M2, la sobrevivencia de los brotes en las dosis de 12, 15 y 18 Gy (75 % en todos los niveles de radiación) superaron al testigo (66.6 %). Sin embargo, para la generación M3, las dosis bajas (3 y 6 Gy) mostraron mayores porcentajes de sobrevivencia que en la generación anterior (Figura 11). Las radiaciones de 15 y 18 Gy fueron tóxicas registrando únicamente 6.6 % de sobrevivencia en ambos niveles de radiación. Por su parte la radiación de 24 Gy en la generación M3 fue letal debido a la acumulación de mutaciones con el avance de las generaciones.

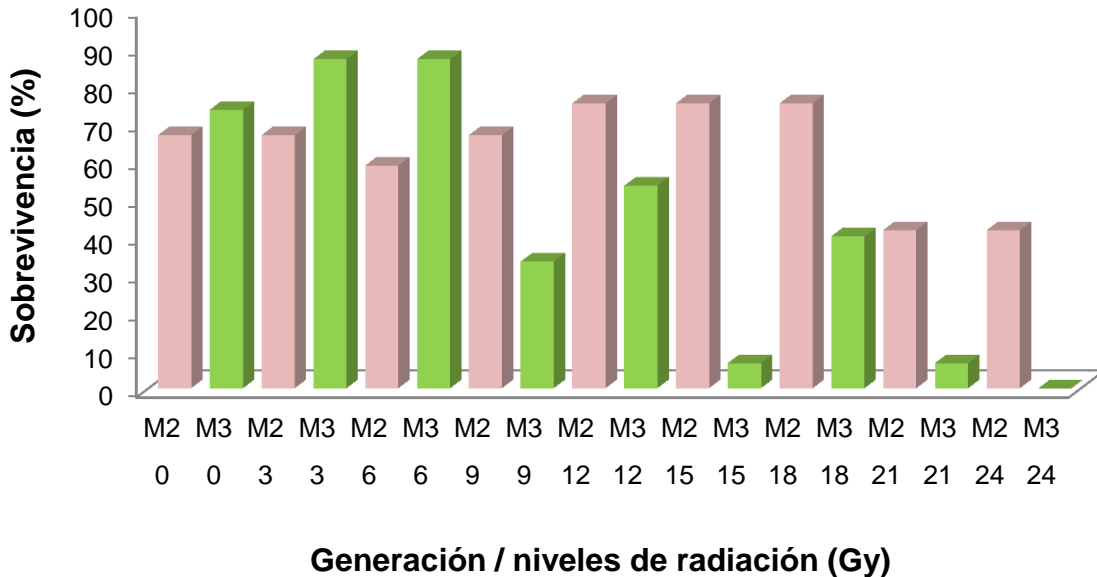


Figura 11. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en el porcentaje de sobrevivencia de las generaciones M2 y M3 del cultivar ‘Mexican Gold’.

La dosis de 27 Gy no resistió la radiación recurrente desde M2, por lo que se considera que para este cultivar los daños celulares en los rizomas, provocados por la radiación,

afectaron procesos fisiológicos importantes provocando la muerte de todas las plantas tratadas.

La altura se incrementó considerablemente en la última generación de radiación; sin embargo, el área foliar se redujo de la generación M2 a la generación M3 (Figura 12). En la dosis de 21 Gy el área foliar fue de 21.6 cm² y para 24 Gy ésta disminuyó hasta 4.1 cm², presentando el pseudotallo alargado que dio como altura de planta 14.1 cm. Lo anterior se debió a los daños provocados por la radiación recurrente que a través de las generaciones se fue acumulando, afectando de este modo la capacidad de la planta para el desarrollo normal de las hojas.

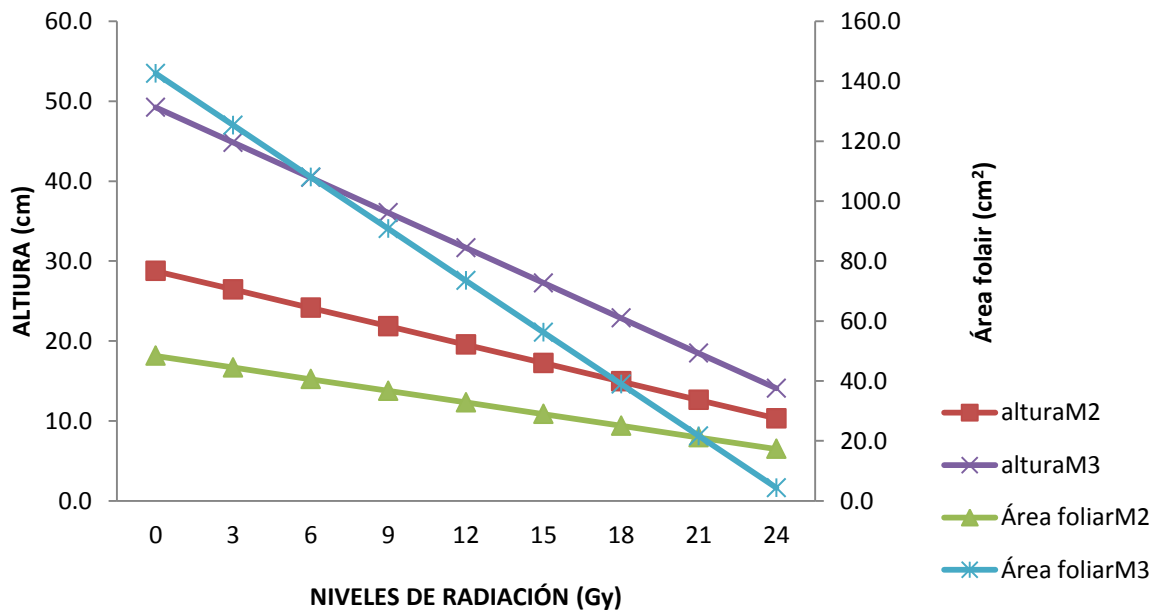


Figura 12. Altura de planta y área foliar de las plantas de las generaciones de radiación M2 y M3 del cultivar 'Mexican Gold', aplicado en diferentes dosis en vivero.

c) *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda'

El Cultivar 'Andrómeda' presentó diferencias significativas en las variables días a brotación y área foliar, en los tratamientos de 0 y 3 Gy, y para el número de hojas y altura de planta en los tratamientos 0, 3 y 9 Gy, en todas las variables se logró aumentar los valores medios de una generación a otra (Cuadro 9). Este cultivar mostró menor resistencia a las dosis de radiación aplicadas con respecto a los cultivares 'Mexican Gold' y 'Tropics'. Los tratamientos recurrentes permitieron la acumulación de las mutaciones lo que provocó una reducción considerable en la sobrevivencia en la mayoría de los tratamientos, quedando solamente las plantas proveniente de las dosis de 0, 3, 9, y 15 Gy (Figura 13).

Cuadro 9. Comparación de medias de variables morfológicas de brotes desarrollados del cultivar 'Andrómeda' de las generaciones de radiación M2 y M3.

FV	GL	DB CM	DIF	NH CM	DIF	APL CM	DIF	AF CM	DIF
T0M2									
Vs	1	1211.6	17.2**	11.4	-1.7**	2415.4	-24.3**	8482.6	-45.5**
T0M3									
T3M2									
Vs	1	1440.6	19.6**	10.4	-1.7**	3824	-31.9**	14912.3	-63**
T3M3									
T9M2									
Vs	1	730	18.3	8.7	-2**	710.2	-18**	1051.8	-21.9
T9M3									
T15M2									
vs	1	142.5	-9.3	0.4	-0.5	262.5	-12.6	1159.4	-26.6
T15M3									

CM= Cuadrado de la media de contraste, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, DB=Días a brotación, NH= Número de hojas, APL= Altura de planta (cm), AF=Área foliar (cm²). Comparación de medias con contrastes al 0.05 de probabilidad. ** Pareja de medias con alta significancia.

En cuanto a los porcentajes de sobrevivencia, el comportamiento resultó parecido al de los otros dos cultivares, registrándose los más altos para la generación M3 y superando al testigo en la dosis de 9 Gy (Figura 13). El hecho de que para la generación M3 solo hayan sobrevivido las plantas tratadas con 3 de las 10 dosis aplicadas desde el inicio de los estudios de radiación, demuestra la alta susceptibilidad de este cultivar a la radiación. Un punto importante es que dado que estas plantas son de porte más pequeño que el de los cultivares 'Tropics' y 'Mexican Gold', se requiere otro tipo de manejo, por ejemplo distinto tipo de sustrato, de nivel de sombreado, etc., además de probar otras dosis de radiación más bajas a las utilizadas en este estudio.

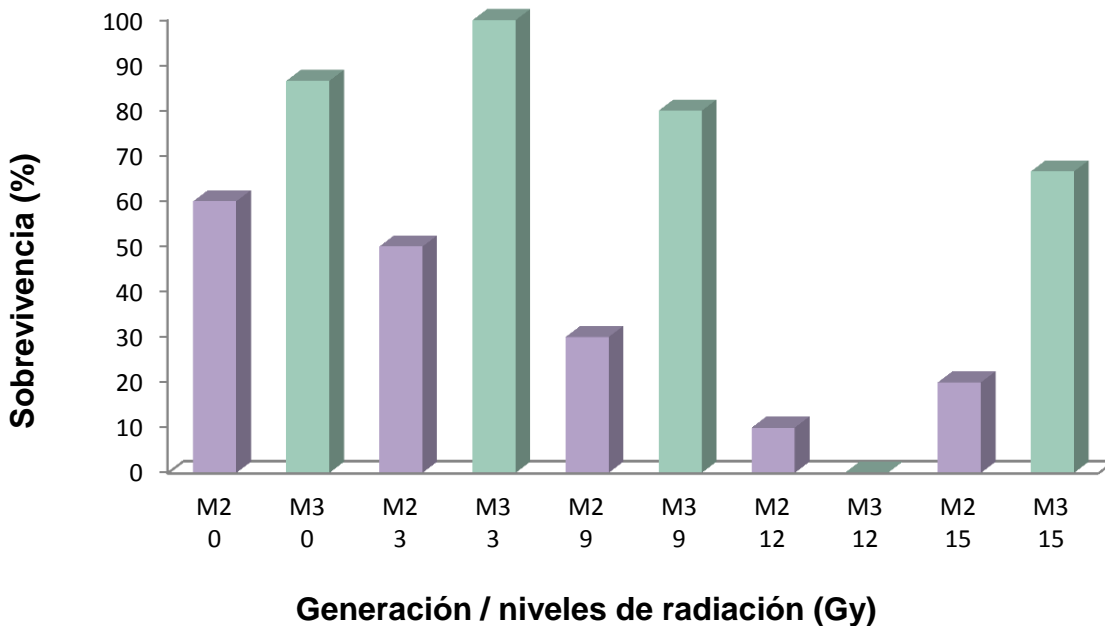


Figura 13. Efecto de diferentes dosis de radiación recurrente en el porcentaje de sobrevivencia de las generaciones M2 y M3 del cultivar 'Andrómeda'.

De la misma manera se puede observar que las plantas de los tratamientos de 6, 12 y 21 Gy no resistieron la aplicación de la radiación recurrente, por lo que no se obtuvieron rizomas que dieran lugar a la generación M3.

Ramírez *et al.* (2003), encontraron en triticale un incremento en la varianza fenotípica al pasar de la generación G0 a G3, lo cual se puede atribuir principalmente al aumento de la variabilidad genética inducida por la irradiación recurrente. Algo similar ocurrió en el presente trabajo, en donde se aumentó la altura de la planta y la sobrevivencia en algunos de los niveles de radiación en los tres materiales utilizados al pasar de una generación a otra (M2 a M3).

En la Figura 14 se observa que la altura de planta se incrementó 15 cm de una generación a otra, este cultivar no siguió la tendencia de reducir la altura conforme se incrementaron las radiaciones, ya que en la dosis de 3 Gy en M2 se registró un área foliar de 19 cm² y para la generación M3 se incrementó a 39.1 cm². Asimismo, en la dosis de 9 Gy en la generación M2 se tuvo un área foliar de 17.6 cm² por planta y en la generación M3 de 31.5 cm². A los 15 Gy de la generación M2 se registró una altura de 15.4 cm con un área foliar de 15.9 cm²; sin embargo, para la generación M3 en la misma dosis, la altura fue de 23.4 cm y el área foliar de 23.8 cm².

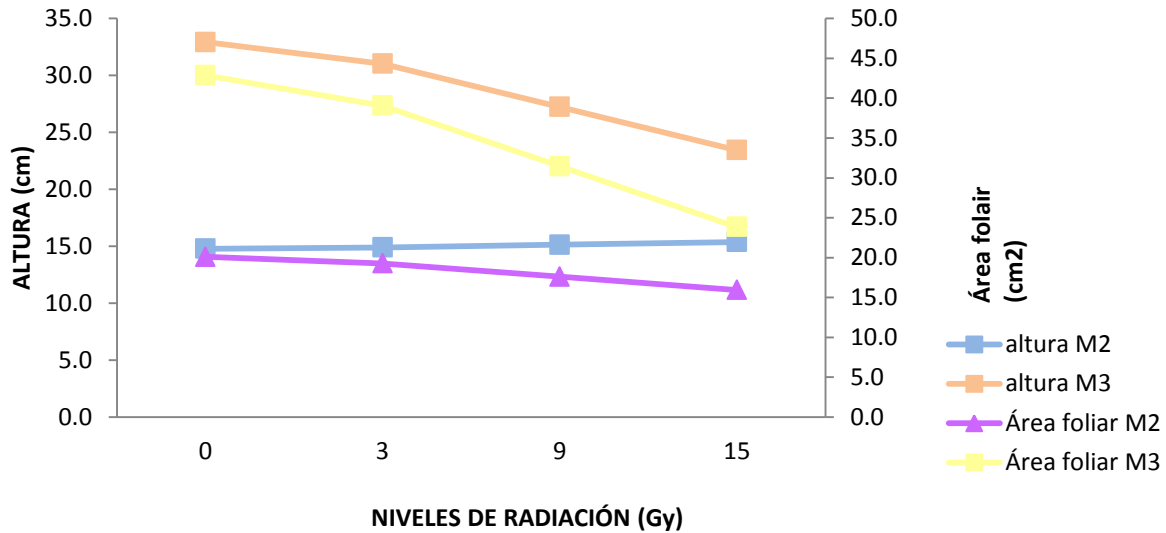


Figura 14. Altura y área foliar de plantas de las generaciones M2 y M3 del cultivar ‘Andrómeda’, sometida a diferentes dosis de radiación con Co^{60} en vivero.

6.4 Caracterización agromorfológica de inflorescencias de heliconias en las generaciones de radiación M1 y M2

a) *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata* cv. ‘Tropics’

El análisis de contrastes del comportamiento de las medias, entre las generaciones M1 y M2 para las inflorescencias del cultivar ‘Tropics’, mostró diferencias significativas para el número de flores por bráctea (NFB). En el contraste de 6 Gy hubo una disminución de 1.8 flores por bráctea, de la generación M2 con respecto a la M1; lo mismo ocurrió en el contraste de 15 Gy (Cuadro 10). Aunque estadísticamente no se encontraron diferencias significativas en el largo de pseudotallo, se observó que las inflorescencias de la generación M2 presentaron los pseudotallos más cortos que los de la generación M1 (Cuadro 10). Asimismo se logró incrementar el número de días de vida de florero

(VF) en todos los tratamientos de una generación a otra. Al registrarse un aumento en la vida de florero en el testigo (sin radiación) de la generación M1 a M2 se deduce que el método de selección por vigorosidad de los rizomas que se dio en las etapas de vivero benefició a la generación M2, además de los efectos que la radiación recurrente haya provocado en las plantas irradiadas.

Cuadro 10. Comparación de medias de variables cuantitativas de la inflorescencia de plantas desarrolladas en campo del cultivar ‘Tropics’ de las generaciones de radiación M1 y M2.

FV	G.L.	NFB			AB			VF			LPS		
		\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF
T0M1 Vs T0M2	1	5.6	4.3	1.2	2.6	2.6	0.1	9.3	15.2	-5.9**	94.3	110.4	-16.1
T3M1 Vs T3M2	1	5.9	4.6	1.4	2.3	4.3	-2.0**	11	15.4	-4.4**	105	73.6	31.4**
T6M1 Vs T6M2	1	5.9	4.1	1.8**	2.1	2.5	-0.3	10.3	15.4	-5.2**	101.4	87.6	13.8
T15M1 Vs T15M2	1	8.7	4.9	3.9**	2.1	2.6	-0.5	12.3	14.5	-2.3**	95	87.8	7.3
T18M1 Vs T18M2	1	4.5	6.1	-1.6	2.4	2.3	0.0	11	14.9	-3.9**	94.8	98.7	-3.9
T24M1 Vs T24M2	1	4.9	4.9	0.1	2.9	2.5	0.5	10.2	16	-5.8**	92.7	88.8	3.9

FV= Factor de variación, G. L.= Grados de libertad, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, \bar{X}^2 (M1)= Media del tratamiento de la generación M1, \bar{X}^2 (M2)= Media del tratamiento de la generación M2, NFB= Número de Flores por Bráctea (núm.), AB= Ancho de Bráctea (cm), VF= Vida de Florero (días), LPS= Largo de Pseudotallo (cm). Comparación de medias con contrastes al 0.05 de probabilidad. ** Pareja de medias altamente significativas.

De acuerdo a las distancias euclidianas (Anexo A) en el análisis de conglomerados por el método vinculación inter-grupos se formaron 3 grupos a distancia de corte de 10 (Figura 15).

El grupo I se conformó por los tratamientos testigo (sin irradiar) de las dos generaciones de irradiación (T0M1-1, T0M2-1) y los tratamientos de 3, 6 y 15 Gy de la generación M1 (T3M1-1, T6M1-1, T6M1-2 y T15M1-1, respectivamente). En el grupo II se ubicaron los tratamientos de la generación M2 de radiación 3, 6, 15, 18 y 24 Gy (T3M2-1, T6M2-1, T15M2-1, T18M2-1 y T24M2-1). En el grupo III se ubicaron las inflorescencias de la primera generación de radiación de los tratamientos 18 y 24 Gy (T18M2-1 y T24M2-1).

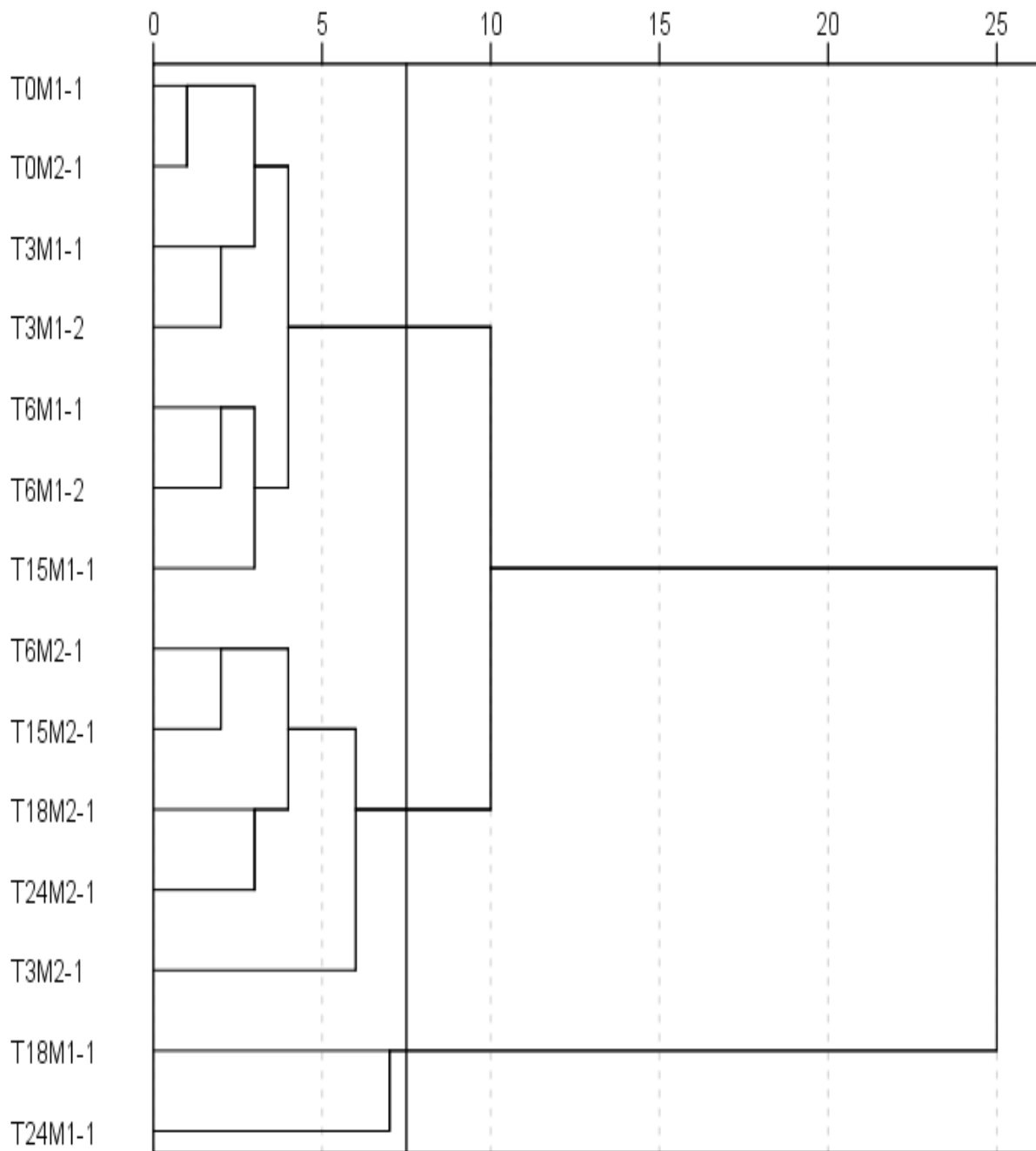


Figura 15. Dendrograma del cultivar ‘Tropics’ con base en las distancias euclidianas estimadas a partir del análisis de variables cualitativas de inflorescencias por el método de vinculación inter-grupos.

Las inflorescencias T3M1-2 y T6M1-2 del grupo I se distinguieron por la posición del raquis, en este caso fue la postura del raquis (semiflexuoso), no así para los otros tratamientos de ambas generaciones, incluyendo al testigo, en los que el raquis fue recto en todos los casos (Figura 16). El cambio en la postura del raquis provee a la inflorescencia forma diferente y novedosa, debido al cambio en el ángulo de apertura de las brácteas, con lo que se presenta una alternativa para el uso en arreglos florales.



Figura 16. Inflorescencias del cultivar 'Tropics' con cambios en su arquitectura con cuatro brácteas abiertas. A) Inflorescencia de plantas no irradiadas (testigo) con tres brácteas abiertas, B) Inflorescencia de plantas irradiadas 3 Gy de la generación M1 con cuatro brácteas abiertas.

Por otro lado, también se identificó una cepa con hojas variegadas provenientes de la generación M2 irradiada con 15 Gy, esta variegación fue permanente presentándose tanto en hojas en crecimiento como en las maduras (Figura 17).



Figura 17. Hojas variegadas de plantas del cultivar 'Tropics' provenientes, de rizomas sometidos a radiación recurrente (generación M2) con Cobalto⁶⁰ de 24 Gy.

La variegación inducida por la radiación gamma proporciona valor comercial a las hojas y a la planta para su uso en jardín y en arreglos florales, ya que en la actualidad solo se comercializan las inflorescencias; sin embargo, es necesario hacer estudios de postcosecha para determinar la vida de florero del follaje y si éste tolera el enrollamiento después del corte, ya que esta característica es la que impide la comercialización de las hojas de heliconia para ser utilizada como follaje en arreglos florales.

b) *Heliconia latispatha* Bentham cv. 'Mexican Gold'.

El análisis de contrastes de medias, entre las generaciones M1 y M2 de las inflorescencias del cultivar 'Mexican Gold' desarrolladas en campo mostró diferencias significativas para las variables ancho de inflorescencia (AI) entre los contrastes L0M1 vs L0M2, que corresponden a los testigos (sin irradiar) de ambas generaciones. Las inflorescencias de la generación M2 fueron más angostas que las de la M1; en el contraste L6M1 vs L6M2 se encontró una diferencia de 11.6 y en el de L9M1 vs L9M2 se encontró una diferencia de -14. Esta diferencia negativa indica que se aumentó el ancho de inflorescencia para la generación M2, como también para el contraste del tratamiento de 15 Gy (L15m1 vs L15M2) con una diferencia de -12 (Cuadro 11).

Por otro lado, los días de vida de florero (VF) se redujeron en casi todos los tratamientos de la generación M2, que solo en los contrastes de los tratamientos de 3 Gy hubo diferencias significativas. Esta característica no es favorable para la producción de flor de corte, ya que la vida de florero es una de los aspectos más

importantes que determinan la calidad y la capacidad para satisfacer las preferencias del consumidor, estimulando la capacidad de adquisición (Onozaki, 2011) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias de variables cuantitativas de la inflorescencia de plantas desarrolladas del cultivar ‘Mexican Gold’ de las generaciones de radiación M1 y M2 desarrolladas en campo.

FV	G.L.	AI			LB			AB			VF		
		\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF
LOM1													
Vs	1	45.7	33.1	12.6**	17.1	15.1	2	2.7	2.8	-0.1	17.7	14.8	2.9
LOM2													
L3M1													
Vs	1	32.3	35.1	-2.8	16.9	14.1	2.7	5.9	2.8	3.1**	15.5	11.8	3.8**
L3M2													
L6M1													
Vs	1	33.3	25.2	11.6**	20.7	12.7	10.5**	3.0	2.7	0.3	14.0	18.8	-5.6**
L6M2													
L9M1													
Vs	1	22.5	36.0	-14**	13.2	15.0	-1.6	2.6	3.0	-0.3	16.8	15.0	1.0
L9M2													
L12M1													
Vs	1	32.8	35.7	-4.3	15.4	15.2	-0.3	2.9	3.1	-0.2	13.0	12.0	2.2
L12M2													
L15M1													
Vs	1	31.0	42.8	-12*	15.0	13.7	1.3	2.7	2.6	0.1	13.6	11.8	1.8
L15M2													

FV= Factor de variación, G. L.= Grados de libertad, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, \bar{X}^2 (M1)= Media del tratamiento de la generación M1, \bar{X}^2 (M2)= Media del tratamiento de la generación M2, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, AI= Ancho de Inflorescencia (cm), LB= Largo de Bráctea (cm), AB= Ancho de Bráctea (cm), VF= Vida de Florero (días). Comparación de medias con contrastes al 0.05 de probabilidad. ** Pareja de medias con alta significancia.

En el análisis de conglomerados realizado por el método de vinculación inter-grupos y de acuerdo con las distancias euclidianas (Anexo B), se formaron 5 grupos a distancia de corte de 10.

En la Figura 18 se observa que en el grupo I se ubicaron los tratamientos testigo (sin radiación) L0M1-1 y L0M2-2 y el tratamiento de 3 Gy de la generación M1 (L3M1-1 y L3M1-2). El grupo II lo conformaron los tratamientos 6, 9 y 12 Gy de la generación M1 (L6M1-1, L6M1-2, L9M1-1, L9M1-2, L12M1-1 y L12M1-5). Por otra parte, el tratamiento de 15 Gy (L15M1-1, L15M1-2 y L15M1-3) de la generación M1 formó el grupo III. El grupo IV lo constituyeron los tratamientos 6 y 15 Gy de la generación M2 (L6M2-1 y L15M2-1).

Finalmente, el grupo V se constituyó de los tratamientos 3, 9 y 12 Gy (L3M2-1, L9M2-1 y L12M2-1) de la generación M2.

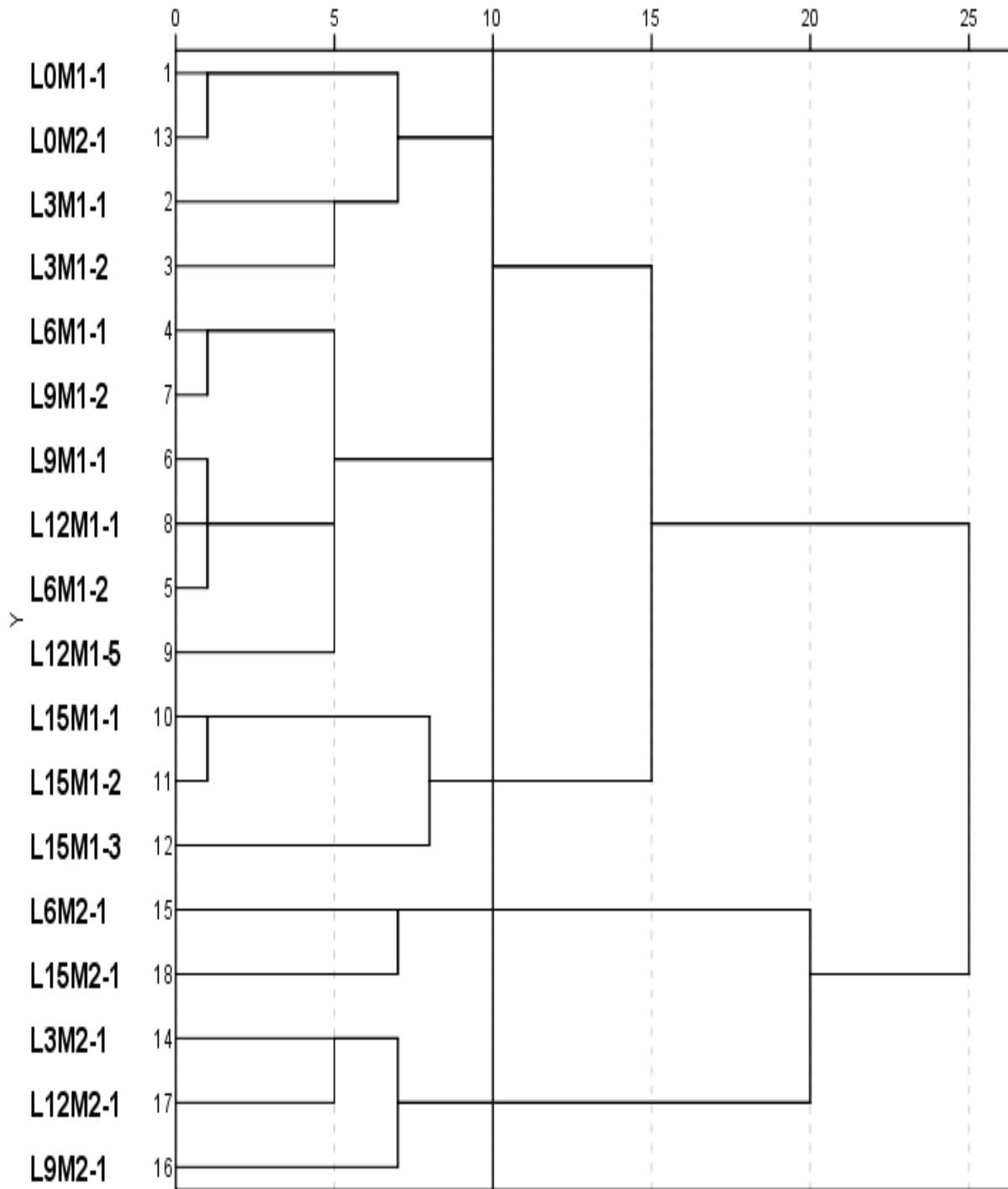


Figura 18. Dendrograma del cultivar ‘Tropics’ obtenido con base en las distancias euclidianas estimadas a partir del análisis de variables cualitativas de inflorescencias por el método de vinculación inter-grupos.

En plantas de ornato las características cualitativas son de suma importancia, ya que a simple vista se pueden distinguir diferencias, como las que se presentaron en las inflorescencias de plantas irradiadas con 12 Gy en la generación M1, en la que se detectaron inflorescencias con los raquis variegados. De la misma manera, en la dosis de 15 Gy se diferenciaron inflorescencias con el pseudotallo variegado (Figura 19). Estas características desarrolladas como consecuencia de la radiación, aportan vistosidad a las inflorescencias por el contraste de los colores verde y amarillo, lo que puede aportarles valor agregado durante la comercialización de este cultivar, que aún no es aprovechado a nivel comercial.



Figura 19. Cambios inducidos por radiación gamma en inflorescencias del cultivar 'Mexican Gold' de la generación M1. A) Raquis de inflorescencia irradiada con 12 Gy de rayos gamma con Cobalto⁶⁰, B) Pseudotallo de inflorescencia irradiada 15 Gy de rayos Gamma con Cobalto⁶⁰.

Cabe señalar que la variegación en el raquis y el pseudotallo se mantuvieron en las inflorescencias jóvenes y hasta la madurez, sin embargo, con la aplicación de la radiación recurrente, estas características desaparecieron.

Además de estas características, también se identificaron cepas irradiadas con otras dosis manejadas con pseudotallo o raquis piloso, esta característica se considera poco atractiva para el mercado florícola. Esta característica se presenta en algunas especies de maíz que crece en climas templados o fríos, por lo tanto, la pilosidad que provocó la radiación pudiera conferirles la capacidad de tolerar temperaturas más bajas a las que esta especie se desarrolla y adaptarse a climas templados.

c) *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda'

En el análisis de comparación de medias por contrastes que se realizó con las variables cuantitativas, se encontraron diferencias significativas para largo de inflorescencia (LI) de los contrastes de los tratamientos 9 y 15 Gy entre generaciones de radiación, por consiguiente; en el largo de bráctea (LB) también se registraron diferencias en los mismos tratamientos, además del testigo (Cuadro 12). De la misma forma, para la vida de florero (VF) también se registraron diferencias en estos mismos tratamientos, siendo las dosis 9 y 15 Gy las que provocaron mayores cambios en las características cuantitativas de este cultivar.

Cuadro 12. Comparación de medias de variables cuantitativas de la inflorescencia de plantas del cultivar ‘Andrómeda’ de las generaciones de radiación M1 y M2. desarrolladas en campo.

FV	G.L	LI			AI			LB			VF		
		\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF	\bar{X}^2 (M1)	\bar{X}^2 (M2)	DIF
P0M1													
Vs	1	9.4	10.0	-0.6	6.2	5	1.2	6.7	8.6	-1.9**	9.9	11.7	-1.8
P0M1													
P3M1													
Vs	1	9.9	11.5	-1.6	7.5	7.7	-0.2	7.0	7.3	-0.3	10.4	10.4	0.0
P3M2													
P9M1													
Vs	1	9.9	12.5	-2.7**	4.9	5.2	-0.2	7.2	10.3	-3.1**	14.3	11.0	3.3**
P9M2													
P15M1													
Vs	1	9.4	12.3	-2.9**	5.2	9.7	-4.5**	6.2	8.3	-2.1**	9.7	11.7	-2.0**
P15M2													

DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, FV= Factor de variación, G. L.= Grados de libertad, DIF= Diferencia entre los tratamientos del contraste, \bar{X}^2 (M1)= Media del tratamiento de la generación M1, \bar{X}^2 (M2)= Media del tratamiento de la generación M2, LI= largo de inflorescencia, AI= Ancho de Inflorescencia (cm), LB= Largo de Bráctea (cm), VF= Vida de Florero (días). Comparación de medias con contrastes al 0.05 de probabilidad. ** Pareja de medias con alta significancia.

De acuerdo a las distancias euclidianas (Anexo C) en el análisis de conglomerados por el método de vinculación inter-grupos se formaron 7 grupos, a distancia de corte de 10, (Figura 20).

El grupo I se conformó por las inflorescencias de las plantas de los testigos de ambas generaciones (P0M1-1 y P0M2-1); el tratamiento 3 Gy de la generación M1 (P3M1-1 y P3M1-2) conformaron al grupo II, en el grupo III se ubicaron los tratamientos 6, 12 y 15

Gy de la generación M1 (P6M1-1, P6M1-4, P12M1, P15M1-1). Por otro lado, las plantas irradiadas con 15 Gy en la generación M1 se ubicaron en el grupo IV. Las inflorescencias P15M1-2 se caracterizaron por poseer el raquis de color naranja-rojo (34 B) y P15M1-3 por presentar los sépalos de las flores de color naranja (25B), según la escala de colores de la carta de colores de horticultura. Sin embargo, estos cambios de color se consideran de interés comercial. Por su parte el tratamiento 9 Gy (P9M2-1) se ubicó en el grupo V, el 3 Gy (P3M2-1) en el grupo VI y finalmente, el tratamiento 15 Gy quedó clasificado en el grupo VII.

La separación de estos individuos se debió a que la forma de la inflorescencia fue irregular, aun cuando el cultivar 'Andrómeda' se caracteriza por poseer una inflorescencia oblonga (Sosof, 2006); es decir, tiene el mismo ancho y largo de la inflorescencia. Las inflorescencias de P9M2-1 se caracterizaron por el color de las brácteas, éstas se iniciaron con un color naranja-rojo (30B) desde la base de la bráctea, para después ir oscureciéndose a rojo (40A) desde la parte media hacia la punta. Las inflorescencias de P3M2-1 presentaron el mismo color que las de P9M2-1 en la base de las brácteas y sólo desde la mitad hasta el ápice cambió la intensidad del rojo pasando de rojo 40A a rojo 43A. Por su parte, P15M2-1 mostró un color de bráctea rojo 44A, desde la base de la bráctea hasta el ápice.

Los cambios en la coloración de las brácteas ofrecen un lugar en el mercado para este tipo de inflorescencias, ya que la creciente demanda comercial, nacional e internacional de flores exige nuevas formas, texturas y colores para el sector ornamental.

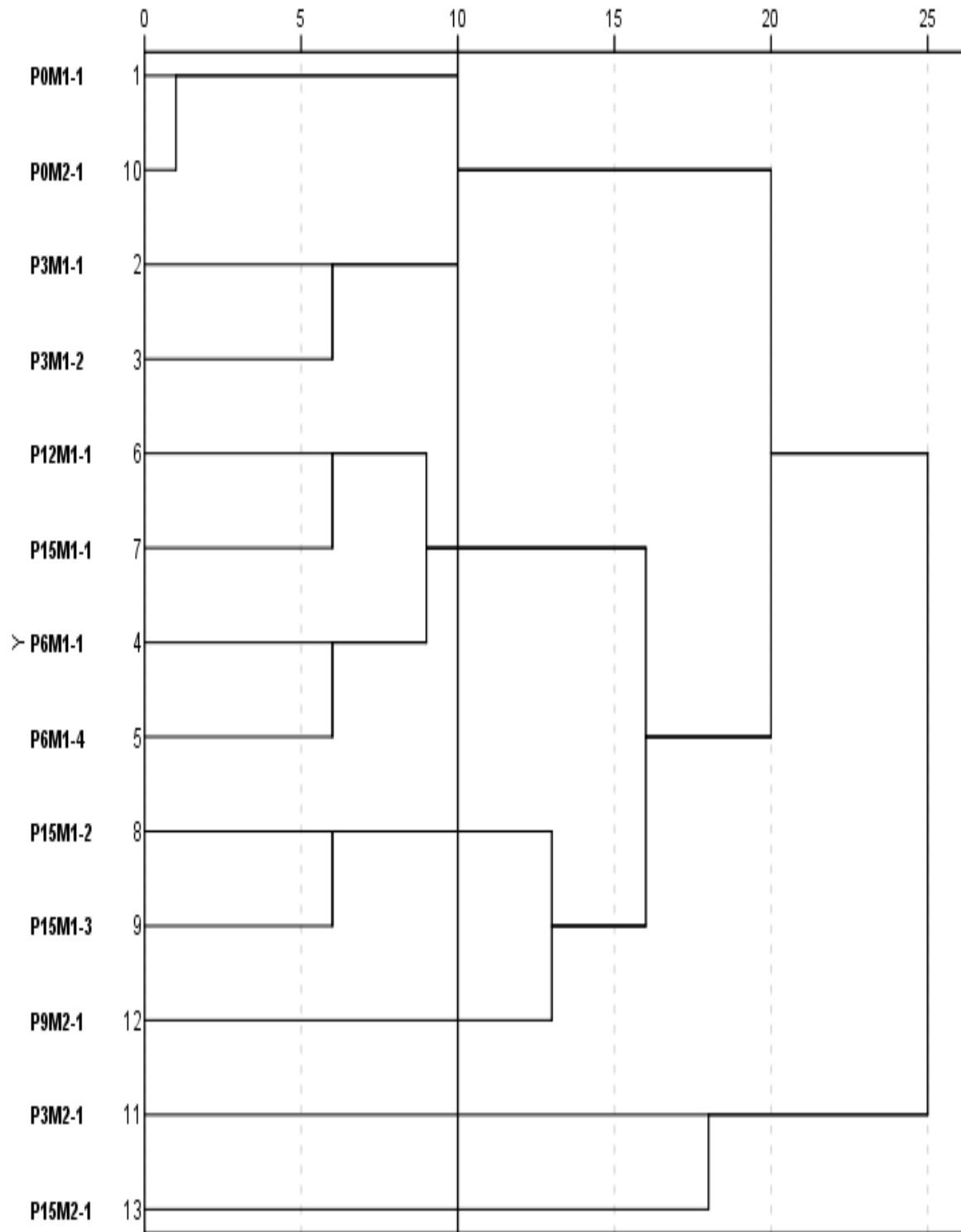


Figura 20. Dendrograma obtenido con base en las distancias euclidianas, estimadas a partir del análisis de variables cualitativas de inflorescencias del cultivar ‘Andrómeda’, por el método de vinculación inter-grupos.

7 DISCUSIÓN GENERAL

El mejoramiento genético por radiación en heliconia ofrece alternativas para obtener nuevos materiales con nuevas formas y texturas que cubran las exigencias del mercado nacional e internacional de éstas plantas ornamentales.

Los estudios en mejoramiento genético en heliconia ya sea por cruza o utilizando estructuras vegetativas son escasos, debido a que esta especie es primordialmente propagada de forma vegetativa, además de que tiene un ciclo de vida largo, lo que dificulta los estudios en mejoramiento genético por radiación. El cultivo de tejidos podría ser una opción que permita generar cambios en las características de estas plantas a través de la variación, ya que la eficiencia de esta técnicas ha facilitado el empleo de la radiomutagénesis para el mejoramiento genético tanto en semillas como en plantas propagadas vegetativamente (Alhoowalia, 2001).

A pesar de los inconvenientes que presentan las heliconias para el mejoramiento genético, en el presente trabajo, la radiación de rizomas arrojó datos interesantes con respecto a los cultivares manejados. Así, se pudo observar que la altura disminuyó conforme se incrementó la dosis de radiación, siendo la dosis de 30 Gy letal para los materiales genéticos usados. La disminución en la altura usando radiación ha sido reportada por diversos autores. Al respecto, Canul *et al.* (2012) reportan la disminución de la altura en plantas irradiadas de nochebuena. A su vez; Iglesias *et al.* (2010) señalan la reducción de altura en plántulas regeneradas a partir de semillas de oyamel irradiadas.

De los tres cultivares estudiados, *Heliconia psittacorum* L. f. cv. 'Andrómeda', resultó ser la más sensible a la radiación, lo que se reflejó en baja sobrevivencia de los rizomas, motivo por el cual es recomendable utilizar dosis de radiación más bajas de las que se probaron y rizomas con mayor masa, con el fin de asegurar que los rizomas de esta especie sobrevivan a la radiación.

La acumulación de los cambios provocados con la radiación recurrente de 15 Gy permitió obtener follaje variegado en *Heliconia psittacorum* x *Heliconia spathocircinata aristeguieta* cv. 'Tropics', al irradiar con 15 Gy, manteniéndose este cambio en las hojas desde la juvenilidad hasta la madurez; sin embargo, es necesario que se continúe evaluando esta característica para asegurar que es heredable y estable a través de las generaciones. En este sentido, Otahola *et al.* (2001) al irradiar plantas de crisantemo con cobalto⁶⁰ encontró hasta 60 % de mutantes en color de flor; aunque la mayoría resultaron ser quiméricos.

Heliconia latispatha Bentham cv. 'Mexican Gold' al ser un cultivar con bajo grado de mejoramiento, fue el cultivar más resistente a los cambios provocados por la radiación; no obstante, en la cepa irradiada con 15 Gy se identificaron inflorescencias con pseudotallo variegado en la primera generación de radiación. Se requiere continuar con la evaluación de esta cepa para definir si este cambio se mantiene al propagar vegetativamente esta cepa.

8 CONCLUSIONES GENERALES

En los tres cultivares estudiados se determinó que el número cromosómico fue de $2n = 24$.

La exposición de los rizomas a los rayos gamma produjo un efecto severo en la mayor parte de variables evaluadas; este efecto fue mayor con 27 y 30 Gy en los tres cultivares.

El cultivar 'Mexican Gold', por el bajo grado de mejoramiento genético, fue el más resistente a la radiación, mientras que el cultivar 'Andromeda' fue el más susceptible.

Los caracteres que más incrementaron su expresión fenotípica al aplicar la radiación recurrente fueron los días a brotación y la altura de planta.

En el cultivar 'Tropics' la radiación recurrente alargó la vida de florero en todos los tratamientos, además, se identificó un mutante con hojas variegadas. De estas cepas podría obtenerse una variedad con follaje variegado con posibilidades de comercialización.

El cultivar 'Andrómeda' no presentó cambios fenotípicos de importancia comercial.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Ahloowalia, BS (2001) *In vitro* techniques for selection of radiation induced mutations adapted to adverse environmental conditions. *In: Proceeding of final Research Coordination Meeting organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and agriculture and held in Shanghai, China.*
- Arroyo, M. T.; Armesto, J.; Squeo, F.; Gutiérrez, J. 1993. Global change: the flora and vegetation of Chile. En h. Mooney, E. Fuentes y B. Kronberg (eds). *Earth systems response to global change: contrast between North and South America.* Academic press, New York, 239-264 p.
- Baltazar, B. O.; Zavala, J.; Hernández, N. S. 2011. Producción comercial de heliconias. 1° edición, Ed. Colegio de Postgraduados, Texcoco Edo de Mex. México. 11-13 pp.
- Bennett, M. 1998. Plant genome values: how much do we know?. *Proceedings of the Natural Academy of Science, USA, 95: 2011-2016.*
- Berry, F. W.; Kress, J. 1991. *Heliconia. An identification guide.* Smithsonian Institution Press. pp: 139-208.
- Broertjes C.; Lefring, L. 1972. Mutation breeding of kalanchoe. *Euphytica.* 21: 415-423.
- Broshcat T., K.; Donselman, H. M. 1984. 'Andromeda' and 'Golden Torch' Heliconias. *Hortscience.* (19)5:736-737
- Brunner, H. 1995. Radiation induced mutations for plant selection. Plant Breeding Unit. Joint FAO/IAEA.
- Canul K. J.; García P. F.; Campos B. E.; Barrios G. E.; De La Cruz T. E.; García A. J.; Osuna C. F.; Ramírez R. S. 2012. Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 3:1495-1507.
- Castillo J.; Estévez, A. M.; González, E.; Castillo, E.; Romero, M. 1997. Radiosensibilidad de dos variedades de papa los rayos gamma ⁶⁰Co. *Cultivos Tropicales.* 18(1):62-65.
- Cervantes S., T.; Castillo, F. G.; Domínguez, C. E. 1999. Cambios en la media y varianza de caracteres cuantitativos de cebada por irradiación recurrente. *Agrociencia,* 33:251:259.

- Criley, R. A. 1988a. Propagation of tropical cut flowers: Strelitzia, Alpinia and Heliconia. *Acta Horticulturae*, 226:509-517.
- Criley, R. A. 1991b. Commercial Production of Heliconias. *En*: "Heliconia: An Identification Guide". (F. Berry and W. J. Kress, ed.). Smithsonian Institution Press, Washington. pp: 321-330.
- Criley, R. A.; Broschat, T. K. 1992. Heliconia: Botany and horticulture of a new floral crop. *En*: "Horticultural Reviews". Ed. J. Janick, 14: 1-55. John Wiley & Sons, New York.
- Cubero, J. I. 2003. Introducción a la Mejora Genética Vegetal; 2º edición, Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Datta, S. K., 2009. A report on 36 years of practical work on crop improvement through induced mutagenesis. Ed Shu Q. In: Induced plant mutations in the genomics era. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. pp: 253-256.
- Deroles, S.; Boase, M.; Konczak L. 1997. Transformation protocols for ornamental plants. *In*: Geneve RL, Preece J E, Merkle S (eds.). *Biotechnology of Ornamental Plants*. CAB INTERNATIONAL. Canadá, pp. 87-118.
- Estrada B., J. A.; Pedraza, S. M.; De la cruz, T. E.; Martínez, P. A.; Sáenz, R. C.; Morales, G. J. 2011. Efecto de rayos gamma Co^{60} en nardo (*Polianthes tuberosa* L.). *Revista Mexicana de la ciencias del Suelo*. 3:445-448.
- Fuentes J., L.; Santiago, V. Y.; Guerra, M.; Ramírez, I.; Prieto, E.; Rodríguez, N.; Velázquez, B. 2004. Mutation in zygotic embryos of avocado (*Persea americana* MILL). *Biología aplicada* 21:2: 82-84.
- Fundación ALTROPICO, 2005. Estudio de mercado local para flores tropicales con potencial comercial y productivo desde la zona de chical. *Biodiversity & sustainable forestry (biofor) IQCTASK order no. 817*. 4p
- González, L. M.; Ramírez, R.; Licea, L.; García B.; Porras, E. 2002. Incremento de la tolerancia a la salinidad en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), mediante el tratamiento de semillas con rayos X. *Alimentaria*, 339:109-112.
- González O., G.; Alemán, G. G.; Ortiz, R.; De la fe, C. 2007. Radiosensitivity to gamma rays (^{60}Co) in shoots tips of henequén. *Biología Vegetal* 7(2):115-117.

- Gutiérrez, B., C. 2000. Flora de Veracruz. Fascículo 118. Familia Heliconaceae. Instituto de Ecología A. C. y Universidad of California-Riverside. 32p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Consultado en línea en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=30>. Fecha de consulta 017 Febrero/2013.
- Iglesias, L.; Sánchez L.; Tivo Y.; Luna M.; Flores N.; Noa j.; Ruiz C.; Moreno J. 2010. Efecto de radiaciones gamma en *Abies religiosa* (Kunth) Schldt. Et Cham. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16:5-12.
- Iqbal, J. 1969. Radiation induced growth abnormalities in vegetative shoot apices of *Capsicum annum* L. in relation to cellular damage. *Rad. Botany*. 9: 491-499.
- Jerez, E. 2007, Revisión bibliográfica. El cultivo de las heliconias. *Cultivos tropicales*. 8(1):29-35
- Kaemwong, S.; Eksomtramage, L. 1998. Chromosome numbers of genus Heliconia. Songklanakarin. *Journal of Science and Technology*. 20(4): 489-495.
- Kang Y.; Heling, M. A., 2003. The radiosensitivity of alfalfa varieties and the fuzzy concentration analysis. *Report of China Nuclear Information Center*, Beijing, China, 19 p.
- Kress W., J.; Betancourt, J.; Echeverry, B. 2004. Heliconia: llamaradas de la selva Colombiana, Ed. Cristina Uribe. Bogotá, Colombia. 200 p.
- Krishna R., S.; Bi Y. M.; Saxena P. K. 1997. Somatic embryogenesis and *Agrobacterium*-mediated transformation system for scented geraniums (*Pelargonium* sp. "Frensham"). *Planta* 201:434-440.
- Lopez, J. G. 2009. Heliconias de Colombia. Boletín informativo. No. 9. Ed. Assenda S. A. Risaralda, Colombia.
- Liu J., W.; Shirong, Z. L. 2002. Induced mutation for improvement of fruit trees and ornamental plants in China. FNCA 2002. Workshop on mutation breeding. Beijing, China.
- Moreno, C. D. 2005. Búsqueda, colecta, determinación, caracterización, propagación y conservación *ex situ*, de 54 cultivares nativos de *Heliconia* spp., en Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr.. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro Universitario de Suroccidente. Guatemala, Guatemala. pp. 1-60

- Nagatomi, S.; Degi, K. 2009. Mutation breeding of chrysanthemum by gamma field irradiation and in vitro culture, induced plant mutations in the genomics era. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Ed Q. Y. Shu, Rome, 258-261.
- Nakornthap, A. 1973. Radiation-induced somatic mutations in kalanchoe (*kalanchoe liciniata*). *The Kasetsart Journal*. 7:1: 13-18.
- Nazir M.; B. and S. Ariffin 2002. The progress and potentials of mutation induction in vegetatively propagated plants in Malaysia. Forum for Nuclear Cooperation in Asia. Workshop on Mutation Breeding. Malasia.
- Némiga, X. 1997. Aspectos ecológicos y socioeconómicos de la extracción de hoja de Papatla *Heliconia schiedeana* Klotzsch. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México.
- Novak F.; Brunner, H.. 1992. Plant breeding: Induced mutation technology for crop improvement. IAEA Bulletin, 4: 25-33.
- Oliveira M.; Tulman, N. A.; Leite, R.; Castiglioni, V.; Arias, C. 2004. Mutation breeding in sunflower for resistance to *Alternaria* leaf spot. *Helia*. 27: 41-50.
- Onozaki T., Yagi, M.; Tanase, K.; Shibata, M.. 2011. Crossing and selections for six generations base don flower base life to crete lines with ethylene resistance or ultra-long base life in carnations (*Dianthus caryophyllus* L.) *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*. 80 (4): 486-498.
- Orozco, L., A.; Chavarro, B. A. 2005. De la investigación al mercado: Un acercamiento a la medición del impacto de las heliconias colombianas. *Estudios Generales*. No. 19. pp 107-126.
- Otahola V.; Aray, M.; Antoima, Y. 2001. Inducción de mutantes para el color de la flor en crisantemos (*Dentranthema grandiflora* (Ram) Tzvelev) mediante radiaciones gamma. *UDO Agrícola* 1 (1): 56-63p.
- Pérez, J. 1998. Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología. Ediciones Geo. Villa Clara, Cuba.
- Plana D.; Alvarez, M.; García D.; Castillo, E. 1999. Radiosensibilidad a los rayos gamma de ⁶⁰Co de tres variedades cubanas de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Cultivos Tropicales* 20(1):75-78

- Priya R. 2006. Studies on gamma ray induced mutations in mugbean (*Vigna radiate* (L.) Wilczek. *Asian Journal of Plant Sciences*. 5(1):61.70
- Ramírez C., J.; Cervantes, T. S.; Villaseñor, H. M.; López, C. C. 2003. Selección para componentes del rendimiento de grano en triticale irradiado. *Agrociencia*. 37:595-603.
- Schum A.; Preil, W. 1998. Induced mutations in ornamental plants. *En: Jain SM, Brar DS, Ahloowalia BS (eds.). Somaclonal variation and induced mutations in crop improvement*. Kluwer Academic Publishers. Great Britain. pp. 333-366.
- Stein O., L.; Sparrow A. H. S. 1962. The effect of chromic gamma irradiation on the growth of *Kalanchoe* cv. "brilliant Star". *Rad. Botany*. 3:207-222.
- Sosof, V. J.; Alvarado, G. D.; Sánchez, C. M. 2006. Estudio de la variabilidad de cultivares nativos de flores del género *Heliconia* (*Heliconiaceae*) provenientes de la región suroccidental de Guatemala. Instituto de Investigación y Desarrollo de Suroccidente. Mazatenango, Guatemala. 61 PP
- Sosa V.; Gómez, P. A. 1994. Flora de Veracruz. Fascículo 82. Lista florística. Instituto de Ecología A.C. y Universidad of Riverside. California, U.S.A. México, D. F. 246 p.
- Urrea A., I.; S. Ceballos, M. 2005. Empleo de las radiaciones gamma en la inducción de la variabilidad genética de la *Heliconia psittacorum*. *Acta Biology*. 27 (82):17-23.
- Veitía N., L. R. García, I. Bermúdez-Carabaloso, P. Orellana, Y. Padrón, D. Torres. 2007. Efecto de las radiaciones gamma sobre callos de papa var. 'Desirée'. *Bioteología Vegetal* (7)1: 57 - 61

10 ANEXOS

Anexo A. Matriz con base en las medidas euclidianas de 15 variables cualitativas de inflorescencia de las generaciones de radiación M1 y M2 del cultivar ‘Tropics’.

	T0M1-1	T3M1-1	T3M1-2	T6M1-1	T6M1-2	T15M1-1	T18M1-1	T24M1-1	T0M2-1	T3M2-1	T6M2-1	T15M2-1	T18M2-1	T24M2-1
T0M1-1	0.000													
T3M1-1	1.732	0.000												
T3M1-2	2.000	1.000	0.000											
T6M1-1	3.606	2.000	2.236	0.000										
T6M1-2	3.742	2.236	2.000	1.000	0.000									
T15M1-1	5.196	3.742	3.606	2.000	1.732	0.000								
T18M1-1	18.974	18.841	18.868	18.894	18.921	19.053	0.000							
T24M1-1	24.880	24.739	24.759	24.739	24.759	24.819	6.245	0.000						
T0M2-1	0.000	1.732	2.000	3.606	3.742	5.196	18.974	24.880	0.000					
T3M2-1	7.681	6.164	6.245	4.472	4.583	3.162	19.468	25.060	7.681	0.000				
T6M2-1	9.695	8.185	8.246	6.245	6.325	4.796	20.347	25.749	9.695	3.000	0.000			
T15M2-1	10.817	9.274	9.327	7.348	7.416	6.000	20.905	26.192	10.817	4.243	1.732	0.000		
T18M2-1	11.832	10.344	10.392	8.426	8.485	7.000	21.260	26.514	11.832	5.385	2.828	2.236	0.000	
T24M2-1	12.649	11.269	11.314	9.327	9.381	7.810	21.541	26.702	12.649	6.403	3.742	3.606	2.449	0.000

Anexo B. Matriz con base en las medidas euclidianas de 15 variables cualitativas de inflorescencia de las generaciones de radiación M1 y M2 del cultivar ‘Mexican Gold’.

	L0M1-1	L3M1-1	L3M1-2	L6M1-1	L6M1-2	L9M1-1	L9M1-2	L12M1-1	L12M1-5	L15M1-1	L15M1-2	L15M1-3	L0M2-1	L3M2-1	L6M2-1	L9M2-1	L12M2-1	L15M2-1	
L0M1-1	0.000																		
L3M1-1	1.414	0.000																	
L3M1-2	1.732	1.000	0.000																
L6M1-1	2.646	1.732	1.414	0.000															
L6M1-2	2.449	1.414	1.732	1.000	0.000														
L9M1-1	2.449	1.414	1.732	1.000	0.000	0.000													
L9M1-2	2.646	1.732	1.414	0.000	1.000	1.000	0.000												
L12M1-1	2.449	1.414	1.732	1.000	0.000	0.000	1.000	0.000											
L12M1-5	3.317	2.236	2.449	1.414	1.000	1.000	1.414	1.000	0.000										
L15M1-1	2.828	3.162	3.000	3.000	3.162	3.162	3.000	3.162	3.873	0.000									
L15M1-2	2.828	3.162	3.000	3.000	3.162	3.162	3.000	3.162	3.873	0.000	0.000								
L15M1-3	3.873	4.123	4.000	3.742	3.873	3.873	3.742	3.873	4.472	1.732	1.732	0.000							
L0M2-1	0.000	1.414	1.732	2.646	2.449	2.449	2.646	2.449	3.317	2.828	2.828	3.873	0.000						
L3M2-1	5.916	5.196	5.292	4.690	4.583	4.583	4.690	4.583	4.243	5.568	5.568	5.292	5.916	0.000					
L6M2-1	7.681	7.141	7.211	6.164	6.083	6.083	6.164	6.083	5.831	6.245	6.245	5.292	7.681	4.000	0.000				
L9M2-1	5.831	5.099	5.196	4.796	4.690	4.690	4.796	4.690	4.359	5.831	5.831	5.745	5.831	1.000	5.000	0.000			
L12M2-1	6.164	5.477	5.568	4.796	4.690	4.690	4.796	4.690	4.359	5.477	5.477	5.000	6.164	1.000	3.000	2.000	0.000		
L15M2-1	8.426	7.937	7.874	6.782	6.856	6.856	6.782	6.856	6.633	6.708	6.708	5.657	8.426	5.099	1.414	6.083	4.123	0.000	

Anexo C. Matriz con base en las medidas euclidianas de 15 variables cualitativas de inflorescencia de las generaciones de radiación M1 y M2 del cultivar ‘Andrómeda’.

	P0M1-1	P3M1-1	P3M1-2	P6M1-1	P6M1-4	P12M1-1	P15M1-1	P15M1-2	P15M1-3	P0M2-1	P3M2-1	P9M2-1	P15M2-1
P0M1-1	0.000												
P3M1-1	2.236	0.000											
P3M1-2	2.646	1.414	0.000										
P6M1-1	4.472	3.317	2.646	0.000									
P6M1-4	4.690	3.317	2.646	1.414	0.000								
P12M1-1	5.292	3.873	3.317	2.449	2.000	0.000							
P15M1-1	5.099	3.873	3.317	2.000	2.449	1.414	0.000						
P15M1-2	6.481	5.385	4.796	4.000	4.000	2.828	2.828	0.000					
P15M1-3	5.831	5.000	4.583	3.742	4.000	2.828	2.449	1.414	0.000				
P0M2-1	0.000	2.236	2.646	4.472	4.690	5.292	5.099	6.481	5.831	0.000			
P3M2-1	9.747	8.124	7.616	5.916	5.916	4.796	4.796	4.796	5.385	9.747	0.000		
P9M2-1	8.944	7.550	7.141	5.831	5.831	4.472	4.472	2.828	3.464	8.944	3.317	0.000	
P15M2-1	9.000	7.874	7.211	6.083	6.083	5.385	5.385	4.359	5.196	9.000	4.472	4.583	0.000