



VARIABILIDAD INDUCIDA EN CARACTERES FISIOLÓGICOS DE *Physalis peruviana* L. MEDIANTE RAYOS GAMMA ^{60}Co APLICADOS A LA SEMILLA

INDUCED VARIABILITY IN PHYSIOLOGICAL CHARACTERS OF *Physalis peruviana* L. THROUGH ^{60}Co GAMMA RAYS APPLIED TO THE SEED

Oscar M. Antúñez-Ocampo¹, Serafín Cruz-Izquierdo^{1*}, Manuel Sandoval-Villa¹,
Amalio Santacruz-Varela¹, Leopoldo E. Mendoza-Onofre¹,
Eulogio de la Cruz-Torres² y Aureliano Peña-Lomeli³

¹Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Fisiología Vegetal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México- Texcoco. 56230, Montecillo, Estado de México. México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Carr. México-Toluca s/n, La Marquesa. 52750, Ocoyoacac, Estado de México. ³Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México. México.

*Autor para correspondencia (sercruz@colpos.mx)

RESUMEN

La inducción de mutaciones es una alternativa para generar variabilidad genética en la naturaleza, o para incrementar la variabilidad genética en una población y obtener genotipos que pueden emplearse como progenitores en programas de fitomejoramiento. La uchuva (*Physalis peruviana* L.) es una Solanacea cuyo fruto es una baya de sabor agridulce; cuyas semillas presentan germinación tardía. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de los rayos gamma ^{60}Co sobre características de germinación de la semilla y vigor de plantas de *P. peruviana*. El estudio se realizó en invernadero con cubierta de plástico UVII720, de agosto a octubre de 2015. Los tratamientos fueron 16 dosis de rayos gamma ^{60}Co (Gy): 0, 5, 10, 20, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 y 350. El experimento se realizó en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. La radiación no afectó el porcentaje de germinación, ni el número de hojas, pero las plántulas de semillas irradiadas emergieron 8 d antes que el testigo; con 300 y 350 Gy la supervivencia fue menor a 50 %. Las plantas de semillas irradiadas con 125, 150, 200 y 225 Gy presentaron la mayor altura y diámetro de tallo. La mayor lectura SPAD y longitud de la raíz se observaron en las plantas testigo. La mayor longitud de entrenudo se tuvo con 125, 150, 175 y 200 Gy. Mediante la aplicación de rayos gamma ^{60}Co pueden modificarse las características de la velocidad de germinación y algunas variables relacionadas con el establecimiento y vigor de las plantas de uchuva.

Palabras clave: *Physalis peruviana*, germinación, mutagénesis, uchuva, variabilidad genética, baya dorada.

SUMMARY

Mutation induction is an alternative to induce natural genetic variability, increase the genetic variability in a population, and obtain parental genotypes in breeding programs. Uchuva (*Physalis peruviana* L.), known as golden berry, is a Solanaceae fruit that produces a bittersweet berry, and its seeds germinate slowly. This study evaluated the effect of gamma rays ^{60}Co on seed germination and seedling vigor of *P. peruviana* L. Plants were sowed under a greenhouse with UVII720 plastic cover from August to October 2015. Treatments included 16 doses of gamma rays ^{60}Co (Gy): 0, 5, 10, 20, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 and 350. The experiment was designed under a completely randomized design with four replications. Radiation did not affect percentage of germination or number of leaves, but seedlings of irradiated seeds emerged 8 d earlier than the control. At 300 to 350 Gy, seedling survival

was less than 50 %. Seedlings irradiated with 125, 150, 200 and 225 Gy doses had higher plant height and stem diameter. SPAD readings and root length were higher in control seedlings. Internode length was higher with 125, 150, 175 and 200 Gy. Application of gamma rays ^{60}Co changes germination rate and some traits related with seedlings vigor and seedlings establishment of golden berry.

Index words: *Physalis peruviana*, germination, mutagenesis, uchuva, genetic variability, golden berry.

INTRODUCCIÓN

La inducción de mutaciones es una alternativa para generar variabilidad genética no presente en la naturaleza (Ahloowalia y Maluszynski, 2001; Lemus *et al.*, 2002), o para obtener genotipos que pueden emplearse como progenitores en programas de fitomejoramiento, al producir nuevas combinaciones genéticas o al incrementar la variabilidad en una población (Rangaiah, 2006).

Los mutágenos pueden ser físicos y químicos. Entre los agentes mutagénicos físicos están los rayos X, gamma (Jain, 2006; Yamaguchi *et al.*, 2008), ultravioleta (Ahloowalia y Maluszynski, 2001), además de iones de carbono (Matsumura *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2009). Los mutágenos químicos más comunes son el etil metanosulfonato, sulfato de dimetilo y sulfato de dietilo (Maluszynski *et al.*, 2009).

La aplicación de la mutagénesis en el mejoramiento genético y en la producción agrícola se inició a principios del siglo XX en cultivos como el maíz (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum* sp.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), algodón (*Gossypium* sp. L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), y en plantas ornamentales (Ahloowalia y Maluszynski, 2001; Chopra, 2005); los rayos gamma son los más utilizados en estas especies (Maluszynski *et al.*, 2009).

La eficiencia de un agente mutagénico para generar variabilidad genética en las plantas dependerá de la dosis y las características físicas del material vegetal, como su temperatura y contenido de agua, así como de variables fisiológicas, como el tipo de tejido (en meristemas hay más probabilidad de éxito que en tejidos diferenciados), edad (los tejidos jóvenes son más proclives que los adultos), constitución bioquímica (contenido de nitrógeno, magnesio, potasio, hierro, fósforo, grasas, lípidos y proteínas), el ciclo de división celular (una alta actividad mitótica provoca una mayor sensibilidad a la radiación), el número cromosómico (a mayor número se presenta menor sensibilidad) y el volumen del núcleo de la célula (Cubero, 2002).

Al respecto, Ramírez *et al.* (2006) observaron que con la aplicación de radiación disminuyó el periodo (días) a germinación de semillas de diversas especies hortícolas y cereales cuando presentan latencia o las condiciones ambientales (humedad y temperatura) no son adecuadas y retrasan su germinación. Se sabe que dosis bajas de radiación (Akshatha y Chandrashekar, 2014) estimulan el interior de las membranas de las células (Mortazavi *et al.*, 2002; Muckerheide, 2004), incrementan la actividad enzimática polifenoloxidasas, catalasas, peroxidasas y esterases (Álvarez *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2005), lo que conlleva a la síntesis de sustancias fisiológicamente activas que a bajas concentraciones aceleran la división celular, conjuntamente con la morfogénesis en mitocondrias y cloroplastos.

La determinación de las dosis de irradiación óptimas para generar variabilidad genética en trabajos de mejoramiento genético constituye una tarea imprescindible. Para ello se requiere definir los intervalos de radiaciones en los que se inducen mutaciones favorables en especies cultivadas, lo que equivale a evaluar la radiosensibilidad de los tejidos a diferentes intensidades de radiación (Fuentes *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2006).

La uchuva (*Physalis peruviana* L.) pertenece a la familia Solanaceae, es una planta perenne, de hábito indeterminado, herbácea y arbustiva, el fruto que se asemeja a un fruto miniatura de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*), es una baya casi redonda de 1.25 a 2.5 cm de diámetro, está envuelta en un cáliz, cuando madura es de color amarillo-anaranjado y sabor agri dulce y contiene entre 150 y 300 semillas. Es originaria de Sudamérica, principalmente de Perú, Ecuador y Colombia (Fischer, 2000), siendo este último el principal productor, seguido de Sudáfrica (Marín *et al.*, 2010). En México no hay información sobre su producción o comercialización, pero existen otras especies silvestres de *Physalis* con frutos de sabor agri dulce.

El fruto se consume principalmente en EE.UU., Inglaterra,

Francia y Alemania (Salazar *et al.*, 2008) de manera fresca y en productos procesados como mermeladas, dulces, almíbares, deshidratados, vinos y yogures. Este contiene fibra, proteínas, vitaminas A y C, hierro, calcio y fósforo (Fischer *et al.*, 2014); además, se le atribuyen propiedades medicinales como purificar la sangre, disminuir la albúmina de los riñones, aliviar problemas de la garganta y próstata, y prevenir la osteoporosis (Marín *et al.*, 2010; Ramadan, 2011).

Esta especie se propaga por vía sexual o asexual. La propagación sexual es la más común; sin embargo, las semillas presentan una germinación tardía y poco uniforme, debido al reducido tamaño de la semilla (2 mm) (Fischer, 2005). Por otra parte, Jaramillo y Montoya (1980) observaron que la latencia de las semillas de *P. peruviana* se relaciona directamente con el contenido de humedad de éstas al momento de almacenarlas. En cambio, Almanza (2000) mencionó que el almacenamiento y secado de la semilla no influyó en la germinación; sin embargo, el estado de madurez del fruto cosechado afectó la madurez del embrión de la semilla (Criollo e Ibarra, 1992). Adicionalmente, Magnitskiy y Plaza (2007) indican que las semillas de la familia Solanaceae presentan latencia fisiológica, morfofisiológica y física, por lo que se requiere aplicar tratamientos que promuevan el desarrollo del embrión y reduzcan las limitaciones germinativas, para lograr uniformidad y aumentar la germinación.

En literatura reciente, Caro-Melgarejo *et al.* (2012) aplicaron varias dosis (50, 100, 200 y 300 Gy) de rayos gamma en yemas vegetativas de *P. peruviana* L., y reportaron que con las dosis de 100 a 200 Gy se obtuvo mayor porcentaje de viabilidad, enraizamiento de microtallos, cantidad de hojas por explante, longitud de tallos, porcentaje de endurecimiento y de cromosomas rezagados en la célula. Las dosis mayores a 200 Gy aumentaron la frecuencia de alteraciones y disminuyeron la viabilidad, el enraizamiento, la cantidad de hojas por explante, la longitud de tallos y el endurecimiento de las plantas regeneradas.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la aplicación de rayos gamma ^{60}Co sobre características de germinación y vigor de plantas de *P. peruviana* L.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el experimento se utilizaron semillas almacenadas durante un año, provenientes de plantas de dos años de edad de la variedad comercial "Ecotipo Colombia", proveniente de Colombia. Los tratamientos consistieron en aplicar dosis crecientes de rayos gamma de ^{60}Co : 0, 5, 10, 20, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250,

275, 300 y 350 Gy, sobre 5 g de semilla (aprox. 2550 semillas) que tenían 13 % de humedad. La irradiación de las semillas se efectuó en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en el Estado de México, en un irradiador LGI-01 Transelektro. Las semillas irradiadas (400 semillas por tratamiento) se sembraron en agosto de 2015 en el Colegio de Postgraduados, Edo. de México, en un invernadero tipo túnel, con cubierta de polietileno UVII-720 y estructura de acero galvanizado, con ventilación lateral. Los 16 tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones (100 semillas por repetición).

La siembra se realizó en charolas de unicel de 200 cavidades en las que se depositaron dos semillas por cavidad que contenía turba humedecida con agua con pH 7.5 y conductividad eléctrica de 0.65 ds m^{-1} . Las condiciones ambientales que prevalecieron durante los meses de agosto a octubre (mes en que concluyó el experimento) fueron: intensidad luminosa de $653.43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, temperatura máxima de 39°C y mínima de 9°C .

Para determinar el efecto de los tratamientos se registraron las siguientes variables: porcentaje de germinación, días al 50 % de emergencia, porcentaje de supervivencia de plantas a los 60 días después de la siembra (dds). A partir de esta variable se seleccionaron seis plantas al azar por unidad experimental, en las cuales se midió la altura (cm) del tallo (a partir del cuello de la raíz hasta el ápice del tallo), la longitud (cm) de la raíz (desde el cuello hasta el extremo de la raíz primaria), el grosor de tallo (mm) (a 1 cm de distancia entre la base de la raíz y la primera hoja de la plantas), la longitud (cm) del primer entrenudo, el número total de hojas presentes y el contenido de clorofila en las dos primeras hojas, mediante el medidor del grado de verdor SPAD 502 (Konica Minolta, Osaka, Japan).

Mediante el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2002) se realizó un análisis de varianza para cada variable y la comparación de medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación, días al 50 % de emergencia y supervivencia de plantas

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas en el porcentaje de germinación ($P \leq 0.05$); en contraste, el porcentaje de emergencia y de supervivencia de plantas fueron afectados significativamente por las dosis de irradiación.

No se encontraron diferencias significativas porque todas las semillas germinaron al 100 %, lo que concuerda con López-Mendoza *et al.* (2012), quienes tampoco encontraron diferencias significativas sobre la germinación total de semillas de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) irradiadas con rayos gamma (20 a 120 Gy). En otras especies la radiación de 50 a 500 Gy aumentó el porcentaje de germinación, como en el caso de semillas de soya (*Glycine max* L. Merrill) y de cuatro variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), aunque dosis mayores de 500 Gy la disminuyeron (De la Fé *et al.*, 2000; Ramírez *et al.*, 2006).

En el presente estudio, la irradiación con rayos gamma ^{60}Co tuvo un efecto radioestimulador al acelerar la emergencia de las plántulas, pues cada una de las dosis alcanzaron 50 % de emergencia 8 d antes que el testigo (Figura 1).

Ramírez *et al.* (2006) señalaron que la radiación acelera la germinación de las semillas de diversas especies cuando presentan latencia o están sometidas a condiciones de estrés que retrasan o inhiben su germinación. Al respecto, Akshatha y Chandrashekar (2014) mencionan que bajas dosis de radiación activan los procesos metabólicos que aceleran la germinación de las semillas; sin embargo, en el presente estudio, también las dosis altas aceleraron la germinación de semillas de uchuva. La aceleración de la germinación se debe a que la radiación eleva la actividad metabólica de las células, provoca la des-diferenciación de las células, afecta la síntesis de proteínas, el balance hormonal, el intercambio gaseoso y la actividad enzimática (Akshatha y Chandrashekar, 2014).

Muckerheide (2004) y Mortazavi *et al.* (2002) mencionan que el efecto positivo de la irradiación se basa en cambios fisiológicos y no genéticos, pues la estimulación está relacionada con una serie de efectos en el interior de las membranas. Estos efectos provocan la activación de enzimas como las polifenoloxidasas, catalasas, peroxidasas y esterasas (Álvarez *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2005), las cuales conllevan a la síntesis de sustancias fisiológicamente activas, que a bajas concentraciones aceleran la división celular, conjuntamente con la morfogénesis en mitocondrias y cloroplastos. El efecto biológico de las radiaciones ionizantes depende del tipo de radiación, la dosis absorbida y el genotipo (De Micco *et al.*, 2011). Aun y cuando la teoría explica el efecto de la irradiación en la velocidad de emergencia, hay casos en que se tiene un efecto contrario. Por ejemplo Canul-Ku *et al.* (2012), al aplicar rayos gamma ^{60}Co sobre semillas de nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch), observaron que dosis de irradiación de 50 a 275 Gy disminuyeron el porcentaje de emergencia (30 a 70 %) en comparación con el testigo.

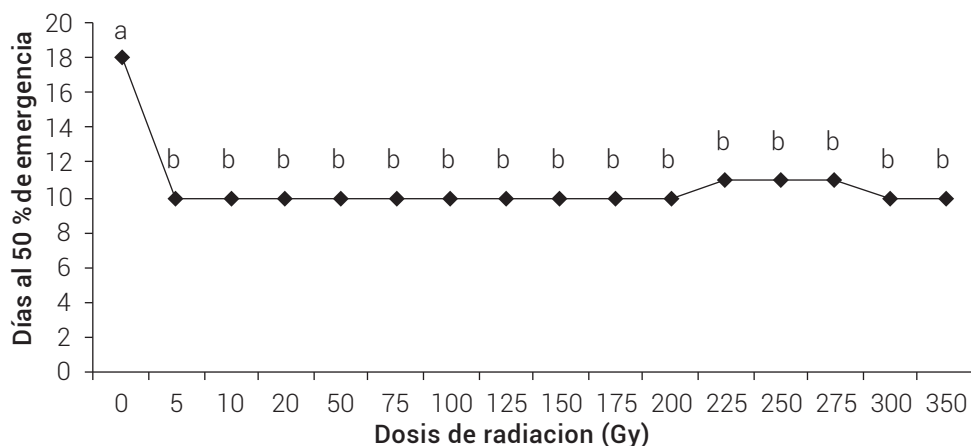


Figura 1. Efecto de dosis de rayos gamma ^{60}Co aplicados a semillas de *Physalis peruviana* L. sobre los días a 50 % de emergencia. Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH: 1.60; C.V.: 5.77 %.

El porcentaje de supervivencia fue mayor a 70 % con excepción de las dosis mayores de irradiación (300 y 350 Gy) (Figura 2).

Estos resultados concuerdan con lo encontrado por varios autores (Amjad y Akbar Anjum, 2003; Bhargava y Khalatkar, 2004), y con lo esperado, si se tiene en cuenta que la inhibición de la división celular es una de las reacciones inmediatas a altas dosis de irradiación. Si bien la inhibición de la mitosis por la radiación puede resultar pasajera, la lesión radiológica que la misma produce a nivel génico y cromosómico puede ser letal para las células en división, que en conjunto son sensibles a la radiación, especialmente en altas dosis (Viccini y Carvalho, 2001).

Una tendencia similar en este parámetro fue descrita por

Ramírez *et al.* (2006), quienes observaron que dosis mayores a los 200 Gy disminuyeron el porcentaje de supervivencia de plántulas de *S. lycopersicum* L., y aunque se produjo emisión de la radícula y aparición de los cotiledones, el efecto de altas dosis de rayos X afectó el desarrollo de las plántulas, pues presentaron coloraciones violáceas a los pocos días de germinadas, con crecimiento lento, las cuales se tornaron débiles y finalmente murieron.

Por su parte, De la Fé *et al.* (2000) mencionaron que de 0 a 360 Gy no se afectó el porcentaje de supervivencia de semillas de *G. max* L., pero en altos niveles de radiación esta característica disminuyó; la mayor supervivencia (90 %) se obtuvo con 400 Gy; en contraste, con 440 y 580 Gy la supervivencia fue menor a 10 %.

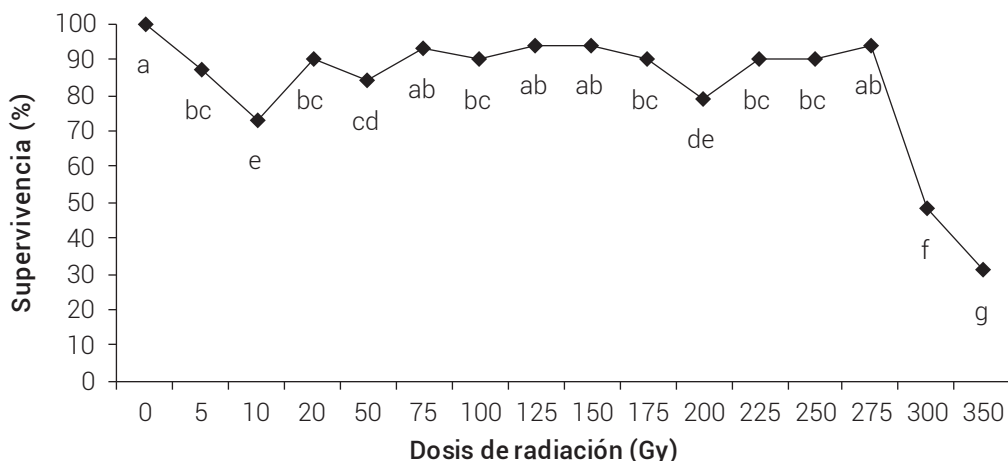


Figura 2. Efecto de dosis de rayos gamma ^{60}Co aplicados a las semillas de *Physalis peruviana* L. sobre el porcentaje de supervivencia de plantas. Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH: 7.96; C.V.: 3.76 %.

Altura y diámetro de tallo de la plantas

La aplicación de rayos gamma ^{60}Co influyó de manera significativa sobre la altura y diámetro de tallo de la planta ($P \leq 0.05$) (Figura 3 y Cuadro 1). Las mayores alturas se presentaron con las dosis intermedias de 125 (13.57 cm), 150 (13.72 cm), 175 (13.35 cm) y 200 Gy (13.42 cm), superiores en 29 % con respecto al testigo, mientras que con dosis altas (300 y 350 Gy) la altura fue menor a 6.27 cm.

En el caso del grosor de tallo, las plantas con 125, 200 y 225 Gy obtuvieron valores superiores a 1.90 mm, en comparación con los obtenidos en plantas testigo (1.88 mm); en cambio con 20, 50, 300 y 350 Gy el diámetro fue menor a 1.43 mm.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Canul-Ku *et al.* (2012) en semillas de nochebuena irradiadas con rayos gamma, donde encontraron que la altura de la planta y el diámetro de tallo fueron afectados de manera significativa. Las dosis de 50 y 150 Gy produjeron la mayor y menor altura, mientras que con 250 Gy se generó el mayor diámetro (24.6 cm), en comparación con los obtenidos en plantas testigo (18.20 cm) y con la dosis de 125 Gy se obtuvo el menor grosor (11.55 cm).

Álvarez *et al.* (2012) encontraron que la altura de la planta de *S. lycopersicum* L. aumentó 15 % y el diámetro de tallo 23 % en relación al control, las dosis de 5 y 20 Gy presentaron los máximos valores para estos indicadores. Al respecto, De la Fé *et al.* (2000), al aplicar diferentes dosis de rayos gamma ^{60}Co sobre semillas de soya, observaron un comportamiento variable en altura de la planta a los 10, 20 y 50 dds. En la evaluación realizada a los 10 dds, las do-

sis de 50 a 320 Gy produjeron un efecto estimulador sobre la altura de la planta, mientras que a los 20 y 50 dds, las dosis favorables fueron las de 100 y 200 Gy. En cambio, las plantas provenientes de semillas irradiadas con 480 Gy mostraron una reducción del 50 % de la altura. Este comportamiento en los indicadores de crecimiento (altura y diámetro de planta) puede ser atribuido a que las dosis inferiores de 225 Gy actúan como mecanismo disparador que intensifica la actividad de las enzimas hidrolíticas, y causa un incremento en la velocidad de conversión de los sustratos respiratorios en pequeñas moléculas, a partir de las cuales se forman los nuevos constituyentes celulares que dan origen a la plántula (Álvarez *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2005). Existen evidencias que indican que las aplicaciones de dosis bajas de radiación favorecen a diversas especies donde los radicales libres, iones y moléculas excitadas que se forman por su efecto contribuyen a una mayor eficiencia en la utilización de las vías bioquímico-metabólicas, las cuales se reflejan sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Álvarez *et al.*, 2012). Por otro lado, los efectos negativos de dosis altas de radiación se deben a daños en el proceso de división y elongación celular (Akgün y Tosun, 2004).

Número de hojas por planta y lecturas SPAD

El número de hojas por planta varió entre 4 y 5, sin diferencias significativas entre dosis. En contraste, las lecturas SPAD (verdor de la hoja) sí fueron afectadas de manera significativa (Figura 4) ($P \leq 0.05$) pues en las hojas de plantas testigo se registraron las mayores lecturas SPAD con 39.48, mientras que en todos los tratamientos de irradiación el valor fue menor a 31.00 y con las dosis entre 5 a 125 Gy se obtuvieron lecturas inferiores a 25.25.

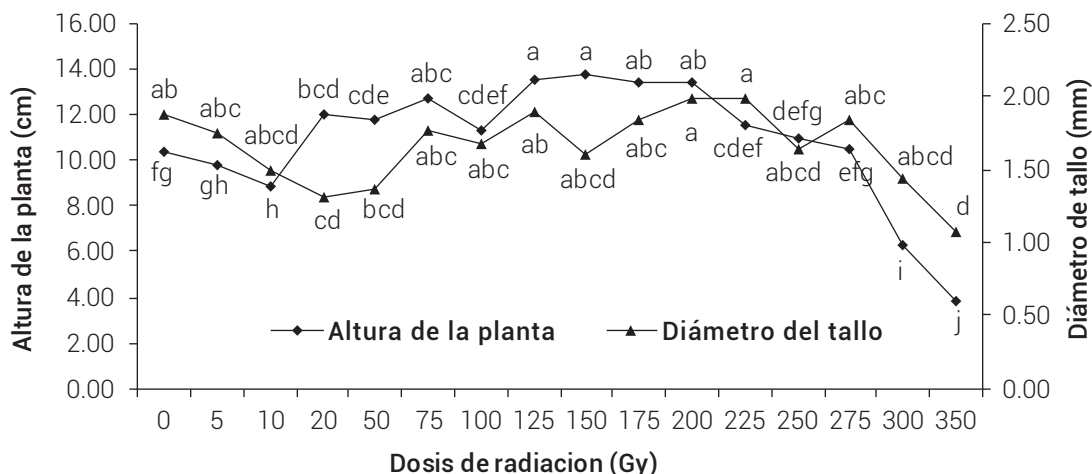


Figura 3. Efecto de dosis de rayos gamma ^{60}Co aplicados a las semillas de *Physalis peruviana* L. en las variables altura y diámetro de tallo de la planta. Valores con letras iguales en cada línea no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH (altura): 1.93; C.V. (altura): 6.95 %; DSH (diámetro): 0.47; C.V. (diámetro): 11.16 %.

Cuadro 1. Media de las dosis de radiación para la altura y diámetro de tallo de la plantas de *Physalis peruviana* L.

Dosis	Altura de la plántula (cm)	Diámetro del tallo (mm)
0	10.31 fg	1.88 ab
5	9.77 gh	1.76 abc
10	8.85 h	1.49 abcd
20	12.03 bcd	1.31 cd
50	11.80 cde	1.37 bcd
75	12.70 abc	1.76 abc
100	11.25 cdef	1.67 abc
125	13.57 a	1.90 ab
150	13.72 a	1.60 abcd
175	13.35 ab	1.84 abc
200	13.42 ab	1.99 a
225	11.58 cdef	1.99 a
250	10.93 defg	1.64 abcd
275	10.47 efg	1.85 abc
300	6.27 i	1.43 abcd
350	3.82 j	1.08 d
DSH (0.05)	1.93	0.47
C.V. (%)	6.95	11.16

DSH: Diferencia significativa honesta; C.V.: Coeficiente de variación. Valores con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

La ausencia de diferencias significativas entre dosis de irradiación para el número de hojas de las plantas no tiene semejanza con estudio alguno. Por ejemplo, De la Fé *et al.* (2000) observaron un rango de radioestimulación a los 10 y 20 dds en la altura y la emisión de hojas de soya con dosis de 50 a 280 Gy, con dosis mayores a 280 Gy el número de hojas por planta disminuyó. Las semillas de *Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et Cham. son muy sensibles a la irradiación pues con dosis de 2 a 10 Gy el número de hojas por planta fue menor a 6.8, valores inferiores al control que presentó 27.7 hojas por planta (Iglesias-Andreu *et al.*, 2010). La interacción entre dosis de irradiación y genotipos fue evidenciada por Lemus *et al.* (2002) en frijol chino (*Vigna unguiculata* (L) Walp) ya que el cv. A-4 mostró el menor número de hojas por planta al aplicársele dosis de 43 a 75 Gy, mientras que en el cv. Tc 9-6 el número de hojas no fue afectado por la irradiación.

En cuanto al efecto de las dosis de irradiación en el valor de las lecturas SPAD en las hojas, De la Fé *et al.* (2000) observaron que a los 20 a 30 d después de la emergencia (dde) las plantas de soya presentaron hojas con aspecto moteado (amarillo-verde) con dosis superiores a los 360 Gy, y hojas de color normal con dosis inferiores a los 360 Gy. En este sentido, Micke *et al.* (1987) concluyeron que

dosis altas provocan mayores daños, como mutaciones clorofílicas y malformaciones en hojas.

Longitud del primer entrenudo y longitud de la raíz de la planta

Ambas variables fueron afectadas significativamente por la aplicación de rayos gamma ⁶⁰Co (P ≤ 0.05) (Figura 5). La longitud de entrenudo del testigo fue 2.27 cm, en contraste con las dimensiones de las plantas provenientes de semillas tratadas con 175 (3.60 cm) y 200 Gy (3.70 cm) en las que hubo un estímulo en el crecimiento del entrenudo, mientras que con 300 y 350 Gy el efecto fue negativo pues los entrenudos fueron cortos (2.02 y 1.63 cm, respectivamente).

La longitud de la raíz fue una variable altamente sensible a la irradiación pues en todas las dosis la longitud de este órgano varió entre 3.84 y 6.00 cm, mientras que las plantas testigo presentaron las raíces más largas (11.84 cm). Cepero *et al.* (2001) también encontraron que la longitud de la raíz de plantas de *Leucaena leucocephala* cultivar Cunningham provenientes de semillas irradiadas fue sensible a la radiación. Las dosis de 20, 80 y 100 Gy inhibieron el crecimiento de la raíz desde 5 hasta 10 % respecto al

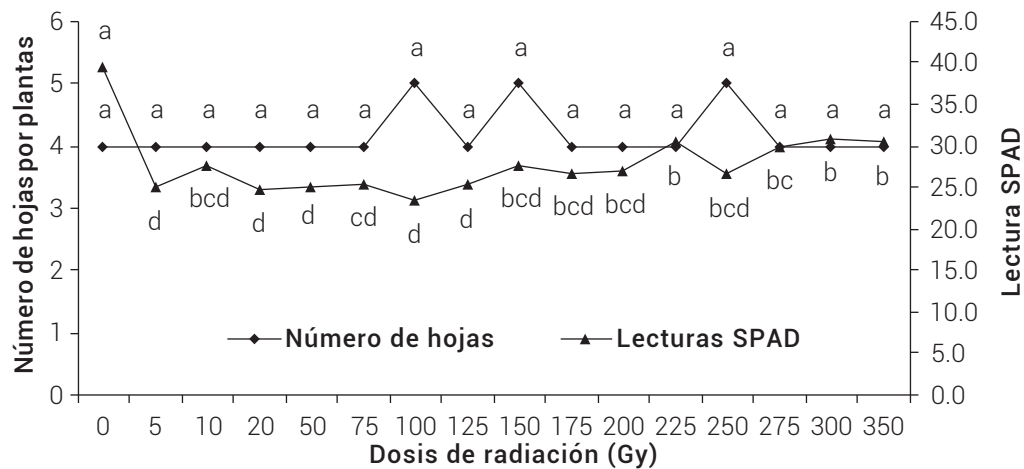


Figura 4. Efecto de dosis de rayos gamma ^{60}Co aplicados a las semillas de *Physalis peruviana* L. sobre el número de hojas y lecturas SPAD por planta. Valores con letras iguales en cada línea no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH (hoja): 1.01; C.V. (hoja): 9.10 %; DSH (SPAD): 5.98; C.V. (SPAD): 8.42 %.

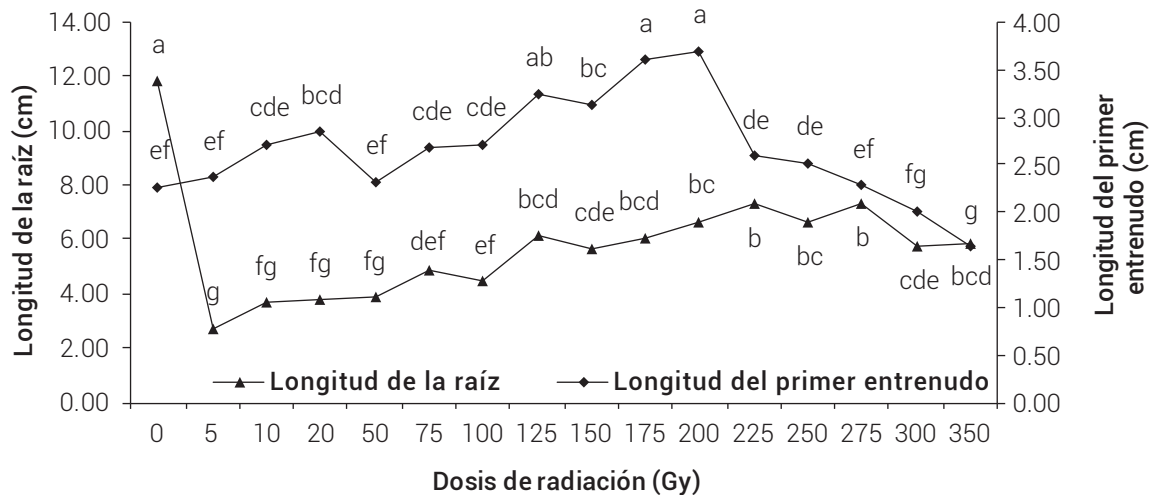


Figura 5. Efecto de dosis de rayos gamma ^{60}Co aplicados a las semillas de *Physalis peruviana* L. sobre la longitud del primer entrenudo y la raíz de las plantas. Valores con letras iguales en cada línea no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). DSH (entrenudo): 0.54; C.V. (entrenudo): 7.91 %; DSH (raíz): 1.60; C.V. (raíz): 10.85 %.

control, mientras que 150 y 180 Gy indujeron un efecto de estimulación (5 a 10 %). En cambio, dosis superiores a los 200 Gy inhibieron el crecimiento de la raíz, resultados que apoyan la conclusión que la longitud de la raíz puede considerarse como un indicador de radiosensibilidad. Similarmente Ramírez *et al.* (2006), al aplicar dosis crecientes de rayos gamma sobre cuatro variedades de *S. lycopersicum* L., observaron que las dosis de 5 y 20 Gy incrementaron la longitud de la raíz, y que dosis superiores a los 100 Gy disminuyeron el crecimiento. Por lo tanto, en esta investigación la radiosensibilidad de la raíz se expresó con todas las dosis (5 a 350 Gy), pero la dosis de 5 Gy provocó la mayor severidad, disminuyó 83 % la longitud de la raíz.

CONCLUSIONES

La emergencia al 50 % se aceleró con todas las dosis aplicadas de radiación gamma. El porcentaje de supervivencia, la altura y diámetro de la planta, lecturas SPAD y la longitud de la raíz disminuyeron con el incremento de las dosis de radiación; en contraste, la longitud de entrenudos aumentó con dosis intermedias (125, 175 y 200 Gy). Las dosis de rayos gamma ^{60}Co no afectaron el porcentaje de germinación de la semilla; tampoco se afectó el número de hojas por planta de *Physalis peruviana* L.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahloowalia B. S. and M. Maluszynski (2001) Induced mutations: a new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118:167-173.
- Akgün I. and M. Tosun (2004) Agricultural and cytological characteristics of *M₁* perennial rye (*Secale montanum* Guss.) as effected by the application of different doses of gamma rays. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7:827-833.
- Akshatha and K. R. Chandrashekar (2014) Gamma sensitivity of forest plants of Western Ghats. *Journal of Environmental Radioactivity* 132:100-107.
- Almanza M. P. J. (2000) Propagación. In: Producción, Poscosecha y Exportación de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). V. J. Flórez, G. Fischer y A. D. Sora R. (eds.). Unibiblos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp:27-40.
- Álvarez A., L. Chávez S., R. Ramírez F., R. Pompa B. y W. Estrada P. (2012) Indicadores fisiológicos en plántulas de *Solanum lycopersicum* L., procedentes de semillas irradiadas con rayos X. *Biotechnología Vegetal* 12:173-177.
- Álvarez A., R. Ramírez, L. Chávez, Y. Camejo, L. Licea, E. Porras y B. García (2011) Efecto del tratamiento de semillas con láser de baja potencia sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Información Técnica Económica Agraria* 107:290-299.
- Amjad M. and M. Akbar Anjum (2003) Effect of post-irradiation storage on the radiation-induced damage in onion seeds. *Asian Journal of Plant Sciences* 2:702-707.
- Bhargava Y. R. and A. S. Khalatkar (2004) Improve performance of *Tecoma grandis* seeds with gamma irradiation. *Acta Horticulturae* 215:51-54.
- Canul-Ku J., F. García-Pérez, E. Campos-Bravo, E. J. Barrios-Gómez, E. De la Cruz-Torres, J. M. García-Andrade, F. J. Osuna-Canizalez y S. Ramírez-Rojas (2012) Efecto de la irradiación sobre nochebuena silvestre (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) en Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1495-1507.
- Caro-Melgarejo D. P., S. Y. Estupiñán-Rincón, L. Y. Rache-Cardenal y J. C. Pacheco-Maldonado (2012) Efecto de rayos gamma sobre yemas vegetativas de *Physalis peruviana* L. *Acta Agronómica* 61:305-314.
- Cepero L., A. R. Mesa, G. Lajonchere y M. Prieto (2001) Estimulación del crecimiento de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham con rayos gamma ⁶⁰Co. *Pastos y Forrajes* 24:235-240.
- Chen Y. P., Y. J. Liu, X. L. Wang, Z. Y. Ren and M. Yue (2005) Effect of microwave and He-Ne laser on enzyme activity and biophoton emission of *Isatis indigotica* Fort. *Journal Integrative Plant Biology* 47:849-855.
- Chopra V. L. (2005) Mutagenesis: investigating the process and processing the outcome for crop improvement. *Current Science* 89:353-359.
- Criollo H. y V. Ibarra (1992) Germinación de la uvilla (*Physalis peruviana* L.) bajo diferentes grados de madurez y tiempo de almacenamiento. *Acta Horticulturae* 310:183-187.
- Cubero J. I. (2002) Introducción a la Mejora Genética Vegetal. Mundi-Prensa. Madrid, España. 565 p.
- De la Fé C., M. Romero, R. Ortiz y M. Ponce (2000) Radiosensibilidad de semillas de soya (*Glycine max* L.) a los rayos gamma ⁶⁰Co. *Cultivos Tropicales* 21:43-47.
- De Micco V., C. Arena, D. Pignatola and M. Durante (2011) Effects of sparsely and densely ionizing radiation on plants. *Radiation and Environmental Biophysics* 50:1-19.
- Fischer G. (2000) Crecimiento y desarrollo. In: Producción, Poscosecha y Exportación de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.). V. J. Flórez, G. Fischer y A. D. Sora (eds.). Unibiblos, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp:9-26.
- Fischer G. (2005) El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. In: Avances en Cultivo, Postcosecha y Exportación de la Uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Colombia. G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahita y J. Romero (eds.). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. pp:55-82.
- Fischer G., P. S. Almanza M. y D. Miranda (2014) Importancia y cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura* 36:1-15.
- Fuentes J. L., L. Santiago, Y. Valdés, M. Guerra, I. M. Ramírez, E. F. Prieto, N. N. Rodríguez and B. Velázquez (2004) Mutation induction in zygotic embryos of avocado (*Persea americana* Mill.). *Biotechnología Aplicada* 21:82-84.
- Iglesias-Andreu L. G., L. R. Sánchez-Velásquez, Y. Tivo-Fernández, M. Luna-Rodríguez, N. Flores-Estévez, J. C. Noa-Carrazana, C. Ruiz-Bello y J. L. Moreno-Martínez (2010) Efecto de radiaciones gamma en *Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et. Cham. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16:5-12.
- Jain S. M. (2006) Mutation-assisted breeding for improving ornamental plants. *Acta Horticulturae* 714:85-98.
- Jaramillo V. y L. Montoya (1980) Estudios preliminares sobre germinación y almacenamiento de semillas de uchuva. *Tropical Agriculture* 32:45-49.
- Lemus Y., J. R. Méndez-Natera, J. R. Cedeño y V. Othola-Gómez (2002) Radiosensibilidad de dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a radiaciones gamma. *Revista Científica UDO Agrícola* 2:22-28.
- López-Mendoza H., J. C. Carrillo-Rodríguez and J. L. Chávez-Servia (2012) Effects of gamma-irradiated seeds on germination and growth in *Capsicum annuum* L. plants grown in a greenhouse. *Acta Horticulturae* 947:77-81.
- Magnitskiy S. y G. A. Plaza (2007) Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana* 25:96-103.
- Maluszynski M., I. Szarejko, C. R. Bhatia, K. Nichterlein and P. Lagoda (2009) Methodologies for generating variability. Part 4: Mutation techniques. In: Plant Breeding and Farmer Participation. S. Ceccarelli, E. P. Guimarães and E. Weltzien (eds.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. pp:159-194.
- Marín A. Z. T., M. Cortés R. y O. I. Montoya C. (2010) Uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia, mínimamente procesada inoculada con la cepa nativa *Lactobacillus plantarum* LPBM10 mediante la técnica de impregnación a vacío. *Revista Chilena de Nutrición* 37:461-472.
- Matsumura A., T. Nomizu, N. Furutani, K. Hayashi, Y. Minamiyama and Y. Hase (2010) Ray florets color and shape mutants induced by ¹²C⁵⁺ ion beam irradiation in chrysanthemum. *Scientia Horticulturae* 123:558-561.
- Micke A. B., B. Donini and M. Maluszynski (1987) Induced mutations for crop improvement. *Tropical Agriculture* 64:259-278.
- Mortazavi S. M. J., M. Ghiassi Nejad and T. Ikushima (2002) Do the findings on the health effects of prolonged exposure to very high levels of natural radiation contradict current ultra conservative radiation protection regulations? *International Congress Series* 1236:19-21.
- Muckerheide J. (2004) There has never been a time that the beneficial effects of low dose ionizing radiation were not known. Center for Nuclear Technology and Society at WPI. Radiation, Science, and Health. Worcester, MA, USA, 4 p.
- Ramadan M. F. (2011) Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. *Food Research International* 44:1830-1836.
- Ramírez R., L. M. González, Y. Camejo, N. Zaldívar y Y. Fernández (2006) Estudio de radiosensibilidad y selección del rango de dosis estimulantes de rayos X en cuatro variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales* 27:63-67.
- Rangaiah S. (2006) Induced genetic variation for days to flowering and maturity following hybridization and mutagenesis in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 19:382-384.
- Salazar M. R., J. W. Jones, B. Chaves, A. Cooman and G. Fischer (2008) Base temperature and simulation model for nodes appearance in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura* 30:862-867.
- SAS Institute (2002) SAS/STAT User's Guide. Version 9.1. Volumes 1-7. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Viccini L. F. and C. R. Carvalho (2001) Analysis of gamma radiation-induced chromosome variations in maize (*Zea mays* L.). *Caryologia* 54:319-327.
- Wu D. L., S. W. Hou, P. P. Qian, L. D. Sun, Y. C. Zhang and W. J. Li (2009) Flower color chimera and abnormal leaf mutants induced by ¹²C⁵⁺ heavy ions in *Salvia splendens* Ker-Gawl. *Scientia Horticulturae* 121:462-467.
- Yamaguchi H., A. Shimizu, K. Degi and T. Morishita (2008) Effects of dose and dose rate of gamma ray irradiation on mutation induction and nuclear DNA content in chrysanthemum. *Breeding Science* 58:331-335.