

Radiación gamma en semillas de Jamaica para inducir variación morfológica y selección de mutantes

Luis Antonio Gálvez-Marroquín¹
Carlos Hugo Avendaño-Arrazate^{2,5}
Rafael Ariza-Flores¹
Yeudiel Gomez-Simuta³
Misael Martínez-Bolaños²
Jesús Alberto Cruz-López¹

1 Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP. Melchor Ocampo núm. 7, Santo Domingo Barrio Bajo, Villa de Etla, Oaxaca. CP. 68200.

2 Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP. Tuxtla Chico, Chiapas. CP. 30780.

3 Subdirección de producción-Programa Moscamed-Moscafrut. Metapa de Domínguez, Chiapas. CP. 20860.

Autor para correspondencia: avendano.carlos@inifap.gob.mx.

Resumen

El objetivo fue determinar la DL_{50} y RC_{50} e inducir variación morfológica en la variedad de jamaica UAN-8 mediante rayos gamma para seleccionar plantas mutantes de interés agronómico en la generación M₂. Las dosis de radiación utilizadas fueron: 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1 000 Gy. Los experimentos se realizaron bajo condiciones de invernadero y campo en Río Grande, Villa de Tututepec, Oaxaca, durante el año 2018. Se utilizó el diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones. En M₁, se evaluó la emergencia de plántula, supervivencia, altura y porcentaje de plantas con semilla. En M₂, se registró la variación morfológica y se seleccionaron plantas mutantes. Los datos de supervivencia y altura de planta se analizaron mediante una regresión no lineal para determinar la dosis letal y reductiva media (DL_{50} y RC_{50}). La DL_{50} y RC_{50} se encontró a 395.48 y 453.2 Gy, respectivamente. Las semillas M₂ de dicha variedad produjeron plantas con variabilidad morfológica en dosis desde 100 hasta 300 Gy. De estas plantas fue posible identificar seis genotipos mutantes promisorios. El genotipo identificado como S7 L13 presentó características morfológicas deseables como mayor número de cálices rojo por planta y pubescencia ausente o muy débil, comparado con las plantas del genotipo parental.

Palabras clave:

mutagénesis, radiación gamma, radiosensibilidad.

Introducción

La jamaica (*Hibiscus sabdarifa* L.) es una planta anual de la familia Malvaceae, que se cultiva principalmente por sus cálices. El consumo de los cálices de jamaica se ha incrementado por su actividad antioxidante (Frank *et al.*, 2012), hipotensora (Herrera *et al.*, 2004) y tratamiento del perfil lipídico (Gurrola-Díaz *et al.*, 2010), así como tratamiento preventivo para el cáncer (Muhammad y Shakib, 1995; Pacheco-Oviedo *et al.*, 2019). En México, el estado de Oaxaca es el tercer productor de jamaica por superficie de siembra con 1 457 ha, con rendimiento promedio de 350 kg ha⁻¹ (SIAP, 2019). La siembra de jamaica se realiza de temporal en 20 municipios principalmente de la Costa Oaxaqueña. Las variedades tradicionales para la siembra son Criolla, Sudán, Tempranilla y Yersey acriollada.

El genotipo UAN-8, fue seleccionada dentro de 60 genotipos que se evaluaron en la Costa de Oaxaca en diferentes localidades, por su rendimiento superior a 600 kg ha⁻¹ de cálices secos, resistencia a pudrición del tallo causado por *Phytophthora parasitica* Dastur y por su alto contenido de bioactivos. Esta variedad además presenta excelente calidad de cálices secos y por ser éstos de tamaño tres veces más grandes que la variedad criolla, la cosecha por jornal es mayor (Ovando *et al.*, 2018). Sin embargo, este genotipo presenta frutos y cálices con un grado de pubescencia media, lo cual dificulta la cosecha, ya que esta se realiza de manera manual y ocasiona incomodidades después de un tiempo de estar manipulando los cálices.

El genotipo UAN-8 fue empleado para generar un material de escasa a nula pubescencia mediante cruzamientos o mutagénesis inducida con radiación gamma. Este último método tiene la ventaja de generar variabilidad genética y así poder seleccionar materiales con buenas características de rendimiento y calidad, en menor tiempo en el proceso al emplear un solo progenitor y generar variaciones en pocos caracteres, comparado con los métodos convencionales de mejoramiento genético (Oladosu *et al.*, 2016). Al respecto, Harding y Mohamad (2009) reportan para jamaica que la RC₅₀ de 754 Gy para la variedad Terengganu y 773.8 Gy para Arab. En otra variedad de Jamaica, Hanafiah *et al.* (2017) determinaron que la DL₅₀ para germinación de semilla fue 477.8 Gy. También, Díaz-López *et al.* (2016) determinaron que dosis de 50 Gy afectaron 28% la germinación de una colecta de jamaica de la Costa de Oaxaca.

Para iniciar un programa de mejoramiento genético por mutagénesis inducida con radiación gamma, es necesario determinar la dosis óptima que genere variación genética con la mayor probabilidad de éxito, asociado a la dosis letal y reductiva media (DL₅₀ y RC₅₀). Esta dosis óptima es diferente aún entre variedades de la misma especie (Olasupo *et al.*, 2016), por lo cual, es importante el estudio de radiosensibilidad para el genotipo de interés. Por lo anterior, el objetivo fue determinar la DL₅₀ y RC₅₀, e inducir variación morfológica en la variedad de jamaica UAN-8 mediante rayos gamma para seleccionar plantas mutantes de interés agronómico en la generación M₂.

Materiales y métodos

Irradiación del material vegetal

La irradiación de semillas de jamaica de la variedad UAN-8 se llevó a cabo en la planta de irradiación Moscafrut de SENASICA-SADER en Metapa de Domínguez, Chiapas, México, con el equipo Gamma Beam 127 MDS Nordion con fuente de almacenamiento de 50 g de ⁶⁰Co en seco, con una razón de dosis de 0.029 Gy s⁻¹. Las semillas de Jamaica de la variedad UAN-8, con 11.2% de humedad en promedio, fueron expuestas a 10 dosis de radiación gamma: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1 000 Gy, además como tratamiento control semillas sin irradiar. Se utilizaron 75 semillas por dosis. Las dosis empleadas fueron de acuerdo con lo reportado por Harding y Mohamad (2009).

Radiosensibilidad de jamaica a los rayos gamma de Cobalto 60

La evaluación de la sensibilidad de las semillas de jamaica UAN-8 a la radiación gamma se llevó a cabo en el Sitio Experimental Costa Oaxaqueña del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca-INIFAP, ubicado en Río Grande, Villa de Tututepec, Oaxaca, cuyas coordenadas geográficas son 97° 25'19.37" latitud oeste, 19° 59' 38.1" latitud norte y una altitud de 7 m. La germinación de las semillas irradiadas se llevó a cabo en charolas de unicel de 200 cavidades con dimensiones de 2.5 de ancho y largo y 6 cm de profundidad, con sustrato peat moss®. A los 15 días después de la siembra en charolas, se evaluó la emergencia de semillas (se consideró como emergida, a la plántula cuyos cotiledones estaban por encima de la superficie del sustrato).

Además, se seleccionaron al azar 20 plántulas de jamaica por tratamiento, las cuales se trasplantaron en campo bajo el sistema de siembra marco real con distancia de 1 m entre plantas y surcos. La parcela experimental fue de 220 m², empleando un diseño experimental bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Cinco plantas distribuidas en un surco de 5 m de longitud se tomaron como repetición, de las cuales tres plantas fueron la unidad experimental.

Las dosis de radiación fueron consideradas como tratamiento. La fertilización mineral al suelo se fraccionó en dos partes, la primera aplicación se realizó a los 30 días después de la siembra (dds) utilizando 10 g planta⁻¹ de la fórmula N17-P17-K17, mientras la segunda aplicación se efectuó a los 60 dds, 10 g planta⁻¹ de la fórmula N46-P00-K00. El riego se realizó por goteo. El manejo de plagas como la hormiga (*Atta* spp.) se realizó con Imidacloprid®. El control de arvenses se llevó a cabo de forma manual.

Al momento de la cosecha de jamaica del tratamiento control, se evaluó la supervivencia, altura de planta y porcentaje de plantas con semilla. La supervivencia de plantas se calculó mediante la fórmula PS= (número de plantas vivas/cinco plantas al inicio del estudio)*100. La altura de planta se midió a partir de la base del tallo hasta el ápice terminal de la planta, se tomaron tres plantas por repetición del centro del surco. El porcentaje de plantas con semilla se calculó con la fórmula PPS= (plantas con al menos una semilla con morfología normal/número de plantas del tratamiento)*100. Se consideró una semilla normal, aquella que no fue vana, bien formada y de color café. Finalmente, se registró el menor y mayor número de semillas por planta.

Variación morfológica y selección de mutantes en la generación M₂

Se seleccionaron al azar 20 semillas de jamaica de cada planta M₁ que produjo semilla, de los tratamientos de 100 (20 plantas), 200 (19 plantas) y 300 Gy (6 plantas), para generar la población M₂ donde se incluyó la variedad parental como control (10 plantas). Se consideraron solo estas dosis porque a partir de 400 Gy, las semillas obtenidas fueron vanas y no desarrolladas. La siembra se realizó en campo en el Sitio Experimental Costa Oaxaqueña, el 12 de agosto de 2018. Se depositó una semilla por punto de siembra a 2 cm de profundidad, con el arreglo de siembra marco real con 1 m de distancia entre plantas y surcos. El manejo agronómico fue similar a la utilizada en la generación M₁.

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones (cinco plantas por repetición). Con base en observaciones visuales en campo, se registraron características morfológicas de tallo, flor y cáliz distintas al parental. Mientras, en cosecha se seleccionaron plantas con mayor número de cálices (bajo competencia completa) y escasa pubescencia en cálices, respecto al control. Las plantas seleccionadas fueron caracterizadas con base en 11 descriptores morfológicos de planta, flor y cáliz (SAGARPA-SNICS, 2014). Los colores se registraron con base en el libro de color de tejido de la planta de Munsell (Munsell Color, 2012).

Análisis de datos

Los datos de supervivencia y altura de planta de jamaica variedad UAN-8 fueron analizados por Anova y la comparación de medias con la prueba de Dunnett, 0.05. La DL_{50} y RC_{50} se determinaron mediante los parámetros del modelo Logistic Power.

Resultados y discusión

Radiosensibilidad de semillas de jamaica a los rayos gamma

La emergencia de plántulas de jamaica del genotipo UAN-8 no fue afectada por la radiación gamma ($p > 0.05$), la cual se encontró entre 78 y 88%. Mientras que, la supervivencia de plantas de jamaica fue afectada por la radiación ($p < 0.01$), desde las dosis de 400 a 700 Gy, ésta fue inferior al 50% y a partir de 800 Gy no hubo sobrevivencia (Cuadro 1). Las plantas que no sobrevivieron sólo presentaron las hojas cotiledonales. La reducción de la supervivencia de plantas puede atribuirse principalmente a malformaciones en el ADN, producidas por la radiación gamma (Raut *et al.*, 2021). Al respecto, en células mitóticas de *Catharanthus roseus* L., se reporta mayor número de aberraciones con el incremento de la dosis de radiación gamma (Murugan *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Emergencia, supervivencia y altura de planta de jamaica variedad UAN-8 en función de la dosis de radiación gamma ^{60}Co .

Dosis de radiación (Gy)	Emergencia (%)	Supervivencia de planta (%)	Altura de planta (cm)
0	82	100	111.7
100	88	100	108.3
200	82	95	103.7
300	79	80	82.1
400	87	35**	67.6
500	83	45**	36*
600	82	10**	46*
700	82	15**	31.1*
800	79	0**	-
900	78	0**	-
1 000	79	0**	-

* = diferencia estadísticamente significativa respecto al control de acuerdo con Dunnett, $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$.

La radiación produjo un efecto negativo en la altura de planta de jamaica UAN-8 ($p < 0.05$) obtenidas con semillas con la dosis de 500 Gy, estas presentaron menor altura (<50%) comparado con el control (Figura 1). Por el contrario, Hanafiah *et al.* (2017) no obtuvieron efectos negativos significativos en la altura de planta de jamaica variedad Roselindo 2, en dosis de 100 hasta 600 Gy. Lagoda (2012), indica que la radiación destruye muchas enzimas, lo cual produce una baja división celular y crecimiento de la planta. Por su parte, Momiyama *et al.* (1999) reportaron que el efecto negativo de la radiación en la altura de planta de maíz puede atribuirse a la destrucción de las auxinas.

Figura 1. Aspecto de las plantas de jamaica UAN-8 en la generación M₁ con dosis de 200 (a), 500 (b) y 600 Gy (c) y control (d).



La radiación gamma también influyó el porcentaje de plantas de jamaica que produjeron semillas. Las plantas de jamaica de los tratamientos 0, 100 y 200 Gy, presentaron semillas con morfología normal (no fue vana, bien formada y de color café), observándose una estimulación en la producción de semillas por plantas, como sucedió con la dosis de 100 Gy, mientras en dosis superiores, más de 60% de las plantas sobrevivientes produjeron semillas anormales.

En dosis de 600 y 700 Gy, el efecto fue más severo, sólo 10% en las plantas sobrevivientes produjeron semillas con morfología normal (Cuadro 2 y Figura 2). El decremento o nula producción de semillas por efecto de la radiación gamma, se ha atribuido al incremento de polen estéril (anormalidades meióticas como inversiones y traslocaciones), falta de estructuras reproductivas en la flor y el aborto del embrión antes de la madurez (Kodym *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Porcentaje de plantas M₁ de jamaica UAN-8 con semilla, mínimo y máximo de semillas por planta en función de la dosis de radiación gamma ⁶⁰Co.

Dosis (Gy)	Núm. de plantas evaluadas	Plantas con semilla (%)	Núm. de semillas por planta	
			Mínimo	Máximo
0	20	100	140	750
100	20	100	50	1139
200	19	100	43	221
300	16	37.5	29	151
400	10	10	4	-
500	9	11.1	3	-
600	2	0	-	-
700	3	0	-	-

Número total de plantas de cuatro bloques.

Figura 2. Aspecto de la capsulas y semillas de jamaica UAN-8 en la generación M₁ con dosis de 500 Gy (a y b) y control (c).



Estudios de radiosensibilidad de jamaica variedad Terengganu y Arab mostraron la dosis letal media para altura de planta a 754 y 773.8Gy a las dos semanas de la siembra de las semillas (Harding y Mohamad, 2009). Hanafiah *et al.* (2017), determinaron la DL₅₀ para germinación de semillas de jamaica variedad Roselindo 2 a 477.8 Gy de radiación gamma ⁶⁰Co. La DL₅₀ y RC₅₀ para UAN-8, se encontró a 396.48 y 453.2 Gy, respectivamente.

Los resultados obtenidos con esta variedad sugieren, que con menores dosis se puede obtener variantes morfológicas de interés agroindustrial y que durante el proceso de selección el tiempo puede ser más corto. Sin embargo, en la generación M₁ de los tratamientos de 400 y 500 Gy produjeron 10% de plantas de jamaica con pocas semillas y considerando el tipo de reproducción de esta especie (sexual), se sugiere dosis próximas a 300 Gy para generar variabilidad genética con mayor probabilidad de éxito, (Cuadro 3).

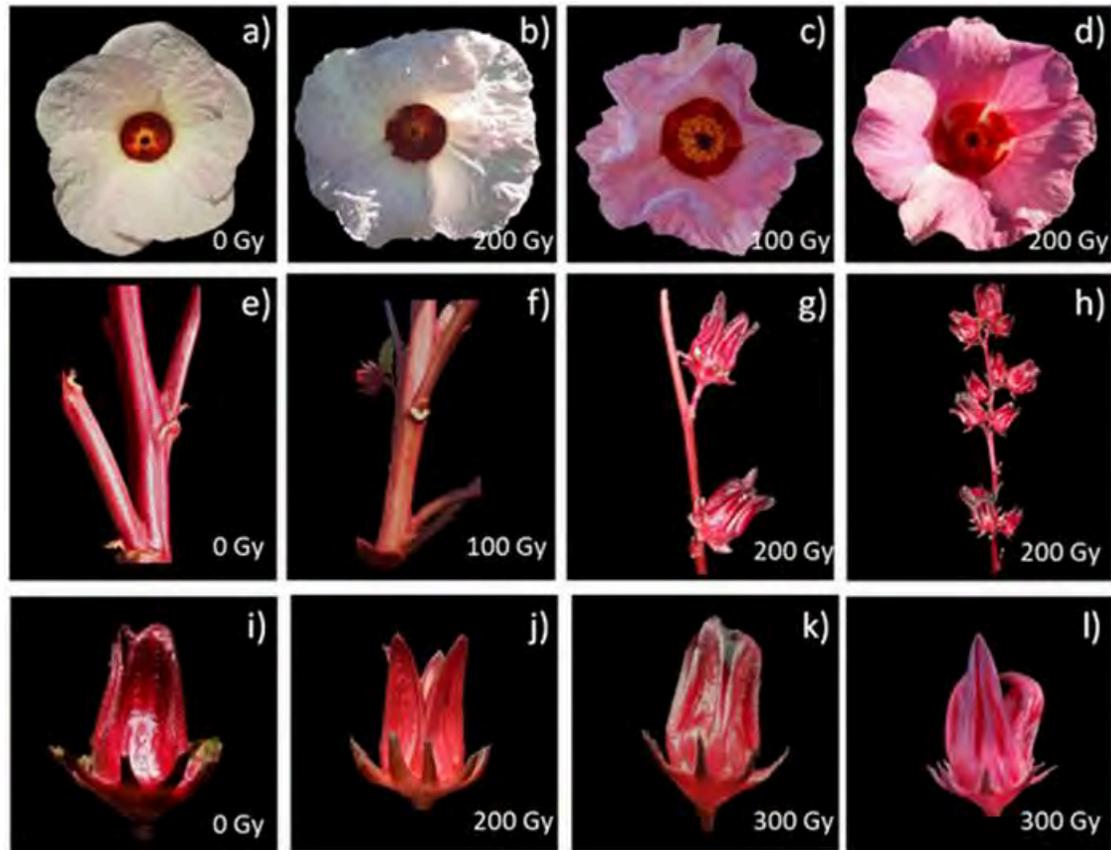
Cuadro 3. DL₅₀ y RC₅₀ con radiación gamma ⁶⁰Co para supervivencia y altura de planta de jamaica variedad UAN-8, estimados mediante el modelo Logistic Power.

Variable	R ²	Ecuación	DL ₅₀	RC ₅₀
Supervivencia	0.96	Y= 100.84/(1+(x/393.81) ^{3.93})	395.48	-
Altura de planta	0.96	Y= 112.51/(1+(x/450.42) ^{2.51})	-	453.2

Variación morfológica y selección de plantas mutantes en la generación M₂

En un programa de mejoramiento genético asistido por mutagénesis inducida, la selección de plantas mutantes potenciales inicia en la generación M₂ y continúan en generaciones subsecuentes (Oladosu *et al.*, 2016). En la población M₂ del genotipo de jamaica UAN-8 a 100, 200 y 300 Gy, se observaron cambios morfológicos en tallo, flor y cáliz (Figura 3). Se observaron cinco plantas de jamaica con flores de color rosa fuerte (5RP 5/10) (tres plantas en 100 Gy y dos plantas en 200 Gy (Figura 3c y 3d), que contrastan al color rosa claro del parental (2.5R 8/4) (Figura 3a).

Figura 3. Aspecto de la flor, tallo y cáliz del genotipo de jamaica UAN-8 (a, e, g, i) y de la generación M₂ (b, c, d, f, h, j, k y l).



Además, en 200 Gy, se observó una planta con una flor de seis pétalos (3b) que difiere al parental con cuatro pétalos (Figura 3a). Se identificaron cuatro plantas con tallos de color rojo más pálido (tres plantas en 100 Gy y dos plantas en 200 Gy; Figura 3f), mientras el parental de color rojo (Figura 3e). En 200 Gy, se identificó una planta con una rama distinta, la cual presentaba de dos a tres cálizos por punto de producción (Figura 3h), mientras el parental sólo presentó un cáliz por axila (Figura 3g).

Respecto a los cálizos, se identificaron cuatro plantas que presentaron cálizos de color rosa (Figura 3l) y tres de color salmón con capsulas pequeñas y semillas anormales, ambas en 100, 200 y 300 Gy (3j), el parental presentó cálizos de color rojo (Figura 3i). Asimismo, se identificaron dos plantas con cálizos con pubescencia escasa o muy débil en 200 y 300 Gy (Figura 3k).

Con base en el criterio de selección de mayor número de cálizos por planta comparados con el control (bajo competencia completa), se identificaron cinco individuos en los tratamientos 100, 200 y 300 Gy, cuyas características morfológicas de planta y cáliz se presentan en el Cuadro 4. Las plantas identificadas como S7 L13 y S8 L14 de dosis de 100 Gy fueron las que presentaron mayor número de cálizos comparados con el control (76.19 y 58.20%), de color rojo y pubescencia similar al parental. En el tratamiento de 200 Gy, las plantas S1 L4 y S2 L8 presentaron 48.14 y 40.21% mayor cantidad de cálizos con base en el control, de color rojo y pubescencia media y ausente o débil.

Cuadro 4. Caracteres morfológicos de plantas mutantes de jamaica seleccionadas en la generación M₂ de la variedad UAN-8.

Carácter	Control	100 Gy		200 Gy		300 Gy	
		S7 L13	S8 L14	S1 L4	S2 L8	S1 L2	S3 L1
HC	Erecto <u>a</u> extendido						
CT	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rosa	Rojo
AP	177.2	189.5	172.8	200.1	143.9	186.7	131.5
ARPF	10.6	5.5	4.1	3.2	5	19.15	3.9
DF	90	90	91	92	91	87	98
RPP	34	57	55	55	45	41	14
LC	5.78	5.41	5.93	5.16	5.73	5.48	5.1
DC	3.27	3.11	3.17	3.13	3.18	2.99	3.17
CC	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo	Rosa
CPP	189	333	299	280	265	268	91
PDC	Media	Media	Media	Media	Ausente o muy débil	Media	Ausente o muy débil

HC= hábito de crecimiento; CT= color del tallo; AP= altura de planta (cm); ARPF= altura de rama a primer fruto (cm); DF= días a floración; RPP= ramas por planta; LC= longitud del cáliz (cm); DC= diámetro de cáliz (cm); CC= color de cáliz; CPP= cálices por planta; PDC= pubescencia de cáliz.

En 300 Gy, se identificó la planta S1 L2 con 40% cálices de más respecto al control, de color rojo y pubescencia similar al parental. Mientras, la planta etiquetada como S3 L1, se observaron menor número de cálices por planta respecto al control, se seleccionó por presentar pubescencia ausente o débil. La característica de escasa pubescencia también se ha obtenido por efecto de la radiación gamma en la generación M₁ de ajonjolí variedad Escoba a 300 Gy (Mussi *et al.*, 2016).

Conclusiones

En la generación M₁, la DL₅₀ y RC₅₀ con rayos gamma de Cobalto 60 para semillas de la variedad de jamaica UAN-8 se encontró a 396.48 y 453.2 Gy, respectivamente. Las semillas M₂ de dicha variedad produjeron plantas con variabilidad morfológica en dosis desde 100 hasta 300 Gy. De estas plantas fue posible identificar seis genotipos mutantes promisorios. El genotipo identificado como S7 L13 presentó características morfológicas deseables como mayor número de cálices rojo por planta y pubescencia ausente o muy débil, comparado con las plantas del genotipo parental.

Bibliografía

- 1 Díaz-López, E.; Morales-Ruiz, A.; Olivares-Hernández, A.; Hernández-Herrera, P.; Marín-Beltrán, M. E.; León de la-Rocha, J. F.; Ramos-Hernández, G.; Juárez-Cortés, J. A.; Santiago-Santiago, H.; Loeza-Corte, J. M.; Cruz-Torres, E. and García-Andrade, J. M. 2016. Radiosensitivity with ray's gamma of ⁶⁰Co at seeds of jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) to determine LD₅₀. Scholar's J. Agric. Vet. Sci. 3(2):93-95.
- 2 Frank, T.; Netzel, G.; Kammerer, D. R.; Carle, R.; Kler, A.; Kriesl, E.; Bitsch, I.; Bitsch, R. and Netzel, M. 2012. Consumption of *Hibiscus sabdariffa* L. aqueous extract and its impact on systemic antioxidant potential in healthy subjects. J. Sci. Food Agric. 92(10):2207-2218. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5615>.
- 3 Gurrola-Díaz, C. M.; García-López, P. M.; Sánchez-Enríquez, S.; Troyo-Sanromán, R.; Andrade-González, I. and Gómez-Leyvaj, F. 2010. Effects of *Hibiscus sabdariffa* extract

- powder and preventive treatment (diet) on the lipid profiles of patients with metabolic syndrome (MeSy). *Phytomedicine*. 17(7):500-505. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.10.014>.
- 4 Hanafiah, D. S.; Mahmud-Siregar, L. A. and Mutia-Dinulia, P. 2017. Effect of gamma ray's irradiation on M1 generation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Inter. J. Agric. Res.* 12(1):28-35. <http://dx.doi.org/10.3923/ijar.2017.28.35>.
 - 5 Harding, S. S. and Mohamad, O. 2009. Radiosensitivity test on two varieties of Terengganu and Arab used in mutation breeding of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Afr. J. Plant Sci.* 3(8):181-183.
 - 6 Herrera-Arellano, A.; Flores-Romero, S.; Chavez-Soto, M. A. and Tortoriello, J. 2004. Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. *Phytomedicine* . 11(5):375-382. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2004.04.001>.
 - 7 Kodym, A.; Afza, R.; Forster, B. P.; Ukai, Y.; Nakagawa, H. and Mba, C. 2012. Methodology for physical and chemical mutagenic treatments. *In: plant mutation breeding and biotechnology*. Ed. Joint FAO/IAEA division of nuclear techniques in food and agriculture international atomic energy agency. Vienna. 169-180. pp.
 - 8 Lagoda, P. J. L. 2012. Effects of radiation on living cells and plants. *In: plant mutation breeding and biotechnology*. Ed. Joint FAO/IAEA division of nuclear techniques in food and agriculture international atomic energy agency. Vienna. 123-134. pp.
 - 9 Momiyama, M.; Koshiba, T.; Furukawa, K.; Kamiya, Y. and Sato, M. 1999. Effects of γ -irradiation on elongation and indole-3-acetic acid level of maize (*Zea mays*) coleoptiles. *Environ. Exp. Bot.* 41(2):131-143.
 - 10 Muhammad, T. B. and Shakib, A. B. 1995. Jus hibiscus: bukan sekadar minuman biasa. *Dewan Ekonomi*. 2(1):12-14.
 - 11 Munsell, C. S. 2012. Munsell plant tissue color book. University of Wisconsin. USA. 21 p.
 - 12 Murugan, S.; Bharathi, T.; Ariraman, M. and Dhanavel, D. 2015. Effect of gamma rays on mitotic chromosome behavior of root tip cells in *Catharanthus roseus* (L) G. Don. *Indo-Asian J. Mult. Res.* 1(3):22-227.
 - 13 Mussi, C.; Nakayama, H. y Oviedo, C. R. 2016. Variabilidad fenotípica en poblaciones de sésamo (*Sesamum indicum* L.) irradiado con rayos gamma. *Cultivos Tropicales*. 37(1):74-80. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3749.3362>.
 - 14 Oladosu, Y. A.; Rafii, M. Y.; Abdullah, N.; Hussin, G.; Ramli, A.; Rahim, H. A.; Miah, G. and Usman, M. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 30(1):1-16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>.
 - 15 Olasupo, F. O.; Ilori, C. O.; Forster, B. P. and Bado, S. 2016. Mutagenic effects of gamma radiation on eight accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *Am. J. Plant Sci.* 7:339-351. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.72034>.
 - 16 Ovando-Cruz, M. E.; Salinas-Moreno, Y.; Gálvez-Marroquín, L. A.; Ortiz-Curiel, S. y Martínez-Bolaños, M. 2018. Evaluación y selección de genotipos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) bajo condiciones de temporal en Tututepec, Oaxaca, México. *Agroproductividad*. 11(12):79-84. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i12.1311>.
 - 17 Pacheco-Oviedo, F.; Ramírez-Azuaje, D.; Pinto-Catari, I.; Peraza-Marrero, M. y Orosco-Vargas, C. 2019. Propiedades de la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), rica fuente de polifenoles. *Saber*. 31(1):44-55.
 - 18 Raut, Y.; Vaidya, E. R. and Sasane, P. 2021 Effect of gamma rays on germination and plant survival in sesame (*Sesamum indicum* L.). *The Pharma Innv. J.* 10(12):392-394.

- 19 SAGARPA-SNICS. 2014. Guía técnica para la descripción varietal de Jamaica [*Hibiscus sabdariffa* (L.) Torr.]. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Tlalnepantla, Estado de México. 29 p.
- 20 SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/siap>.

Radiación gamma en semillas de Jamaica para inducir variación morfológica y selección de mutantes

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2023
Date accepted: 01 June 2023
Publication date: 21 July 2323
Publication date: July 2023
Volume: 14
Issue: 5
Pages: 27-39
DOI: 10.29312/remexca.v14i5.3010

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

mutagénesis
radiación gamma
radiosensibilidad

Counts

Figures: 3
Tables: 4
Equations: 0
References: 20
Pages: 11