

Efecto de irradiación con rayos gamma de ^{60}Co en gladiolo (*Gladiolus communis* L.) cultivares roja borrega y blanca borrega

Effect of irradiation with ^{60}Co gamma rays in gladiolus (*Gladiolus communis* L.) red borrega and white borrega cultivar

Eduardo Piña-De Jesús¹ , Jesús Ricardo Sánchez-Pale^{1*} , Álvaro Castañeda-Vildozola¹ , Omar Franco-Mora¹ , Eulogio de la Cruz Torres² 

¹Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo, Toluca 50200, Estado de México, México.

²Departamento de Biología, Instituto de Investigaciones Nucleares, Carretera México Toluca-La Marquesa s/n, Ocoyoacac, 52750, Estado de México, México.

* Correspondencia: jrsanchez@uaemex.mx

Fecha de recepción:

14 de enero de 2021

Fecha de aceptación:

18 de octubre de 2023

Disponible en línea:

19 de diciembre de 2024

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.



Reconocimiento-

NoComercial-

CompartirIgual 4.0

Internacional

(CC BY-NC-SA 4.0)

RESUMEN

La irradiación con ^{60}Co es una alternativa de generación de variabilidad genética en gladiolo para inducir características fenotípicas deseables. Se evaluaron 10 niveles de irradiación en cormos de dos cultivares de gladiolo: roja borrega y blanca borrega. El ensayo se desarrolló bajo condiciones de invernadero para evaluar la estimulación ejercida en días a brotación, verdor, altura de planta y grosor de tallo. El tratamiento de 30 y 60 Gy estimularon el crecimiento de altura y grosor de tallo en ambos cultivares de gladiolo; sin embargo, dosis de 80, 90, 100 Gy redujeron su crecimiento, alcanzando una reducción por arriba del 30 por ciento respecto al testigo. En blanca borrega se expresó mayor intensidad de verdor y grosor de tallo, mientras que en roja borrega se expresó mayor altura de planta respecto al testigo.

PALABRAS CLAVE

Variabilidad, estimulación, radiosensibilidad, GR_{30} .

ABSTRACT

Irradiation with ^{60}Co is an alternative for generating genetic variability in gladioli to induce desirable phenotypic characteristics. Ten levels of irradiation were evaluated in corms of two gladioli cultivars: roja borrega and blanca borrega. The test was developed under greenhouse conditions to evaluate the stimulation exerted on days to sprouting, greenness, plant height and stem thickness. The 30 and 60 Gy treatment stimulated the growth of height and stem thickness in both gladioli cultivars; however, doses of 80, 90, 100 Gy reduced their growth, reaching a reduction of over 30 percent compared to the control. Blanca borrega expressed greater intensity of greenness and stem thickness, while roja borrega expressed greater plant height compared to the control.

KEYWORDS

Variability, stimulation, radiosensitivity, GR_{30} .

INTRODUCCIÓN

En México, el gladiolo —cuya producción se lleva a cabo en el Estado de México, Oaxaca, Morelos, Puebla, Veracruz, Michoacán y Guerrero— ocupa el primer lugar entre las flores que se propagan por cormos. Con 4.58 mil hectáreas sembradas, esta especie ocupa el primer lugar en importancia como flor de corte, al superar a la rosa y al girasol con 2,919 y 3,771 mil ha, respectivamente (SIAP 2023).

Los estándares modernos en variedad de colores y formas han ayudado a transformar esta flor —este-reotipada como fúnebre— en favorita, y puede ser un importante acento en arreglos florales (Reid 2023). En el mercado nacional, se dispone de dos cultivares de dominio público, denominados como blanca borrega y roja borrega, los cuales, a través de los años, se han ido degenerando y expresando mayor susceptibilidad a los problemas fitosanitarios de cada zona, sin dejar de ser del gusto de la mayoría de los consumidores. A la fecha, no se dispone de material genético con características fenotípicas superiores, derivadas de ambos cultivares o con algún grado de resistencia a los diversos problemas fitosanitarios. Una posible alternativa de inducción de variabilidad y mejoramiento es el uso de radiaciones ionizantes.

En este sentido, Álvarez-Holguín et al. (2017) mencionan que en el proceso de mutagénesis es necesario establecer la dosis de irradiación con mayor probabilidad de producir mutaciones efectivas. En general, se consideran dos criterios para evaluar el efecto de la variabilidad: el primero es la dosis donde muere 50 por ciento de los individuos irradiados (DL50) y el segundo, la dosis en donde se reduce el crecimiento en 50 por ciento (Khalil et al. 2014; Álvarez-Holguín et al. 2019) o 30 por ciento (Brito y Ángeles 2016).

Uno de los pasos iniciales en el proceso de mejoramiento genético por irradiaciones es definir los intervalos de radiaciones gamma útiles para determinar la radiosensibilidad de los tejidos por la exposición a diferentes intensidades (Lemus et al. 2002; Madriz-Martínez et al. 2022; Singh et al. 2024); en este sentido, y ante la necesidad de contar con esta información en los materiales genéticos de gladiolo de mayor interés comercial, el objetivo del presente trabajo fue determinar la dosis e intervalo de irradiación útil con ^{60}Co en cormos de gladiolo de los cultivares roja y blanca

borrega, así como su posible efecto en diversos parámetros vegetativos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los meses de enero y febrero de 2018, en la región de Villa Guerrero y Coatepec Harinas, del Estado de México, México, se hicieron colectas de cormos de gladiolo de los cultivares roja borrega y blanca borrega, con un tamaño homogéneo y sin daños físicos. Los cormos se irradiaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en La Marquesa, municipio de Ocoyoacac, Estado de México. Se utilizó un irradiador Gammacell 220 (Nordion Inc., Ottawa, Canadá) y se evaluaron 10 niveles de irradiación, en intervalos de 10 Gray (Gy) de rayos gamma, iniciando desde 10 hasta 100 Gy, además del testigo sin irradiar.

La siembra de los cormos irradiados se realizó en macetas plásticas de 30 x 30cm (3 kg), con una mezcla homogénea de sustrato compuesto de 40 por ciento de suelo agrícola, 40 por ciento de composta y 20 por ciento de agrolita, la cual fue esterilizada con Metam Sodio (0.5 l /10 m²), dentro de un invernadero del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, del Campus Universitario El Cerrillo, Toluca.

Cada nivel de irradiación fue un tratamiento y contó de 20 repeticiones. El experimento se llevó a cabo bajo un diseño factorial 2 x 10; la unidad experimental fue una maceta con un cormo plantado.

La variable respuesta fue el porcentaje de brotación de los cormos 30 días después de la siembra (dds). Posteriormente, se determinó la posible curva de radiosensibilidad. Durante la fase de crecimiento vegetativo, se evaluó grosor de tallo (mm), intensidad de color verde de hoja con un Spad (Model 502, Konica, Minolta, Japan), que mide la intensidad del verdor de hoja expresada en unidades SPAD, y altura de planta (cm), a los 15, 30, 45, 67 y 75 dds. En etapa de floración, se evaluó el largo de la espiga (cm) y número de flores por espiga. En cosecha, se evaluó número de cormos y número de cormillos. En los valores obtenidos de las variables altura de planta, grosor de tallo e intensidad de verdor de hojas se realizó regresión cuadrática para determinar la dosis reductiva.

Adicionalmente, en las dos variedades se determinó la dosis con alta probabilidad de inducir mutaciones efectivas a través de la estimación en la reducción del crecimiento (GR) en 50 por ciento (Grow reduction), tal como lo mencionan Khalil et al. (2014) y a 30 por ciento (Brito y Ángeles 2016). La estimación de la GR_{30} se efectuó mediante los parámetros de modelos de regresión cuadrática. Todas las variables evaluadas se analizaron bajo un diseño bifactorial en arreglo completamente al azar, con el paquete estadístico del programa SAS (SAS institute, versión 9.0), cuando se alcanzó el máximo desarrollo vegetativo (75 dds).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento vegetativo

Brotación: El material vegetativo irradiado empezó a brotar a los 19 DDS en ambos cultivares de gladiolo, con una germinación total superior a 70 por ciento. A los 30 DDS, en el cultivar rojo se observó una brotación de 100 por ciento en los tratamientos a 30, 60 y 70 Gy, mientras que en los tratamientos restantes, incluyendo al testigo sin irradiar, la brotación fue de entre 90 y 95 por ciento. En ningún tratamiento se alcanzó la muerte de 50 por ciento de los individuos irradiados (DL50).

Para el cultivar blanco, la brotación de 100 por ciento se alcanzó en los tratamientos con 10, 20, 50, 70 y 80 Gy, mientras que, en los tratamientos restantes, exceptuando T10, la brotación fluctuó entre 90 y 95 por ciento, por lo que no se observó adelanto o retraso de brotación de la plántula en las diferentes dosis evaluadas respecto al testigo, contrario a lo reportado en 20 cultivares de gladiolo utilizados en India y tratadas con rayos gamma que estimuló una brotación más temprana de los cormos (Karki y Srivastava 2010) y con la reportado por Singh et al. (2024), al determinar que, a dosis bajas, no se afectó la germinación del cormo.

Altura de planta: A los 75 DDS, se mostraron efectos variables dependiendo de la dosis y de la variedad. Para el factor variedad ($F=28.06$; $G.L.=1$; $P<0.001$), la mayor altura promedio de planta se determinó en el cultivar roja borrega, que fue estadísticamente diferente a la blanca borrega. Para el factor dosis de irradiación ($F=31.34$; $G.L.=10$; $P<0.001$), la mayor altura promedio de planta se determinó en la

dosis de 30 Gy, que fue estadísticamente similar a las dosis de 10, 20, 40 y 60 Gy, todas por arriba de la altura alcanzada en el testigo. La menor altura de planta en los dos cultivares evaluados se determinó con la dosis de 100 Gy, que inhibió la altura del cultivar roja borrega al expresar severas afectaciones en su crecimiento y desarrollo.

Sin embargo, el análisis estadístico del efecto de las dosis ($F=11.01$; $G.L.=10$; $P<0.001$) dentro del mismo genotipo indicó que en roja borrega se presentó una menor altura de planta obtenida de los cormos irradiados respecto al testigo (Figura 1), es decir, se propició un efecto radioinhibidor en la mayoría de los tratamientos, mientras que en el genotipo blanco su altura fue similar a la expresada en plantas de cormo no irradiado (Figura 2).

También se determinó que la altura de planta disminuyó conforme aumentaron las dosis de radiación; sin embargo, la dosis de 30 Gy fue la que indujo la mayor altura de planta. Yadav et al. (2019) obtuvieron una reducción de 56 por ciento en crecimiento de plantas de un híbrido de maíz (*Zea mays* L), para determinar que la altura de las plantas derivadas de semillas disminuyó de 92 a 51 cm, con el incremento de la radiación gamma de 0 a 0.5 kGy en intervalos de 0.1 kGy. Iglesias-Andreu et al. (2010) obtuvieron una reducción del crecimiento en plántulas de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et. Cham.), generadas a partir de semillas expuestas a dosis de radiación gamma de 0 a 20 Gy, con intervalos de 5 Gy entre tratamientos, en donde la altura de las plántulas y el número de hojas primarias fueron menores al testigo. Singh et al. (2024) reportan morfotipos de gladiolo obtenidos de seis dosis de radiación a cormos de gladiolo; dichos morfotipos se incrementaron al aumentar la dosis de irradiación,

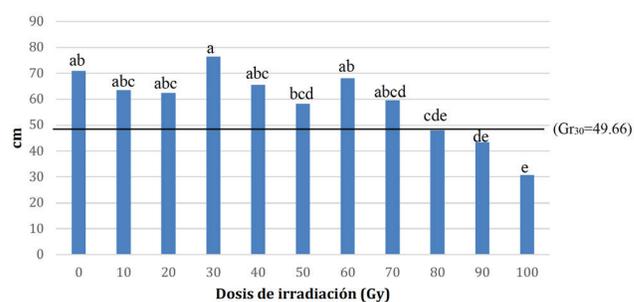


Figura 1. Altura de planta y su reducción (Gr) en gladiolo cultivar roja borrega por efecto de radiación gamma de Co^{60} .

pero a dosis bajas se promovió la altura de planta, por lo que indican que la dosis óptima para irradiar cormos fue de 75 Gy.

En el caso del cultivar blanca borrega, los resultados fueron distintos. Existió una diferencia en el estímulo de la altura de planta inducido por la irradiación (Figura 2). La dosis de irradiación a 30 Gy estimuló una mayor altura de planta, superior a la del testigo (39.90 cm); esta dosis está dentro del rango reportado por Karki y Srivastava (2010), quienes enfatizan que dosis de 15 Gy fueron eficaces para mejorar algunos parámetros vegetativos y florales importantes en gladiolo, y contrasta con lo reportado por Sisodia y Singh (2014), quienes indican una reducción en el tamaño de altura de plantas de gladiolo procedentes de cormos irradiados y que dosis altas indujeron la menor altura de planta. Sin embargo, en los dos genotipos de gladiolo evaluados se determinó que la dosis a 30 Gy indujo la mayor altura de planta, seguido de 60 Gy, que fueron estadísticamente diferentes respecto a los demás tratamientos de irradiación.

Verdor: En la variable intensidad de verdor de hojas, el análisis factorial indicó la inexistencia de diferencias significativas para las interacciones de dosis dentro de los dos cultivares ($F=3.54$; $G.L.=10$; $P=n.s.$) y no se estimuló una mayor intensidad del verdor en hojas de gladiolo irradiado con respecto al testigo. Para el factor cultivar, se determinó el mismo efecto de no estimulación ($F=0.78$; $G.L.=1$; $P=n.s.$). Por otra parte, a diferencia de lo observado con la altura de planta, en intensidad de verdor fue evidente que cada dosis de irradiación estimuló valores por arriba del testigo en ambos cultivares; sin embargo, blanca borrega fue la que expresó un mayor valor de intensidad verdor en todas las dosis de irradiación, indicativo de una mayor cantidad de clorofila en sus tejidos.

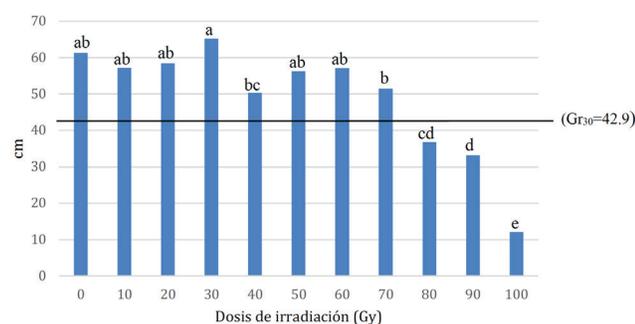


Figura 2. Altura de planta y su reducción (Gr) en gladiolo cultivar blanca borrega por efecto de radiación gamma de ^{60}Co .

En la separación de medias en roja borrega para la variable intensidad de verdor de hojas ($F=0.78$; $G.L.=10$; $P=n.s.$), el tratamiento a 90 Gy presentó el valor de intensidad de verdor más elevado (65.4 unidades SPAD), seguido del tratamiento a 80 Gy (64.98 unidades SPAD), aunque en ninguno de los dos se desarrolló una adecuada altura de planta; similar situación registró a 30 Gy (62.76 unidades SPAD), mientras que el testigo (49.70 unidades SPAD) y la dosis de 100 Gy (48.20 unidades SPAD) son los que expresaron el menor valor de intensidad de verdor a los 107 DDS. En el cultivar blanca borrega ($F=3.89$; $G.L.=10$; $P<0.001$), la separación de medias indicó que a 80 Gy se presentó el mayor nivel de intensidad de verdor (69.50 unidades SPAD), seguido de 40 (67.40 unidades SPAD) y 90 Gy (66.90 unidades SPAD), todas estadísticamente diferentes al resto de los tratamientos. En 10 Gy se presentaron niveles de intensidad de verdor (58.3 unidades SPAD) por debajo del testigo (58.8 unidades SPAD) a los 107 DDS, es decir, una menor cantidad de clorofila en el tejido. En este sentido, Sisodia y Singh (2014) reportan haber encontrado variación en la cantidad de clorofila en plantas generadas a partir de cormos irradiados con cada una de las diferentes dosis (35, 45 y 55 Gy), en los cultivares de gladiolo Aldebaran, Jyotsana, Legend, Praha, Punjab Dawn, Pusa Kiran y Tiger Flame sembradas en India, por lo que señalan que dichos cambios son provocados por la irradiación con ^{60}Co .

Grosor de tallo: En la variable grosor de tallo, el análisis factorial indicó diferencias altamente significativas para el factor cultivar ($F=21.07$; $G.L.=1$; $P<0.001$) y para dosis de irradiación ($F=3.16$; $G.L.=10$; $P<0.001$), pues un mayor grosor se determinó en el cultivar blanca borrega respecto a roja borrega; respecto a la dosis, fue evidente que a 30 Gy se estimuló un mayor grosor de tallo en ambos genotipos, seguido de 60 Gy, aunque todas las demás dosis superaron al testigo. Se observó que los dos cultivares de gladiolo se estimularon al expresar un mayor grosor de tallos en todas las dosis utilizadas, con respecto al testigo.

En cuanto a separación de medias de grosor de tallo por efecto de cada dosis en el cultivar roja borrega ($F=2.61$; $G.L.=10$; $P=n.s.$), se presentaron valores similares entre los tratamientos, aunque los tratamientos a 30 y 80 Gy fueron los que expresaron un mayor grosor al final del ensayo, mientras que con 50 Gy se expresó el menor (Figura 3).

En blanca borrega ($F=2.03$; $G.L.=10$; $P<0.05$) se presentó un aumento en el grosor de tallo en cada tratamiento, evidenciando mayor grosor a 30 y 20 Gy al compararlo con los demás tratamientos, incluido el testigo sin irradiar, aunque en la dosis a 100 Gy se estimuló el menor grosor de tallo (Figura 4). A partir de lo observado en altura y grosor de tallo, en el cultivar blanca borrega, es posible enfatizar que la irradiación estimuló éstas dos características fenotípicas, comparado con lo determinado en el cultivar roja borrega.

Se ha considerado que un parámetro en el cual se favorece la aparición de mutaciones útiles en los programas de mejoramiento genético es la dosis letal (DL_{50}) o dosis reductiva media (GR_{50}), que es la cantidad de radiación absorbida con la cual sobrevive 50 por ciento de la población expuesta o se reduce el crecimiento en 50 por ciento. Es importante conocer este rango (Ramchander et al. 2015) antes de iniciar un programa de mejoramiento genético asistido por mutagénesis. Bajo este criterio, sólo la dosis de 100 Gy sería la descartada, pero si consideramos el parámetro de plantas con poca altura e intensidad de verdor (parámetros de calidad estética), se descartarían las dosis de 80 y 90, por lo que es factible

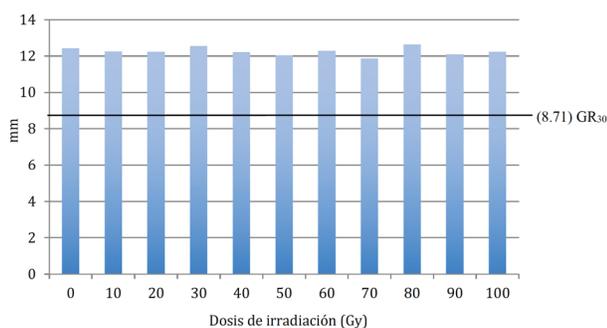


Figura 3. Grosor de tallo y su reducción (Gr) en gladiolo cultivar roja borrega por efecto de radiación gamma de ^{60}Co .

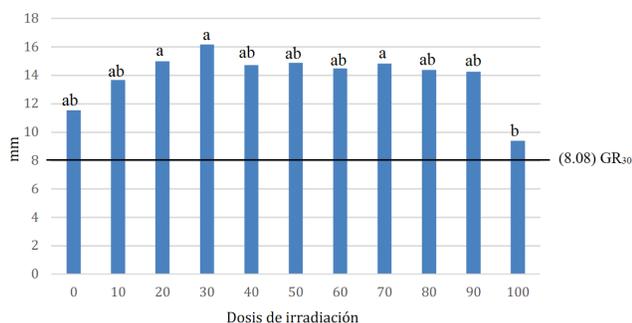


Figura 4. Grosor de tallo y su reducción (Gr) en gladiolo cultivar blanca borrega por efecto de radiación gamma de ^{60}Co .

utilizar el parámetro de reducción de crecimiento de 30 por ciento (GR_{30}) en las variables indicadoras de radiosensibilidad en gladiolo. En este sentido, en lo que se refiere a la dosis de irradiación GR_{30} para altura de planta, se determinó una dosis de 60.73 Gy para el cultivar blanca borrega y 68.094 Gy para roja borrega, debido a que en el modelo de regresión cuadrático en roja borrega se presentó un coeficiente de determinación de $R^2=0.88$ y un modelo de regresión cuadrática de $Y=57.93+0.598X-0.00992X^2$, mientras que en blanca borrega se presentó un $R^2=0.91$ y un modelo de regresión cuadrática de $Y=50.04+0.6541X-0.00992X^2$.

No fue posible determinar la GR_{30} para intensidad de verdor de hojas, por presentar coeficientes de determinación de 0.46 y 0.06 para el modelo de regresión cuadrática en los cultivares blanca y roja borrega, respectivamente. De manera similar, en grosor de tallo se presentaron coeficientes de determinación de 0.66 y 0.07 en los cultivares blanca y roja borrega. El intervalo de transición estuvo entre 30 y 70 Gy para ambos genotipos. La región de inhibición para la altura de planta se estimó a partir de dosis superiores a 80 Gy. Considerando la reducción del crecimiento en los dos genotipos evaluados, la dosis en donde se esperarían cambios en el genoma y, por lo tanto, cambios fenotípicos, se encuentra entre 60 y 70 Gy, consideradas altas, y en las cuales se pueden obtener plantas con crecimiento deseable, así como posibles cambios genéticos, tal como lo mencionan Thole et al. (2011) y Singh et al. (2024).

Floración

Para las variables evaluadas en esta etapa, se obtuvo una emisión poco favorable de espigas en la mayor parte de las dosis; sólo en 30 y 70 Gy de la variedad blanca borrega se obtuvo la formación de espiga y floración en tres plantas. En la dosis de 30 Gy, se obtuvo la floración en las repeticiones (plantas) 6 y 15, pero destacó la repetición 15 con 10 flores, de las cuales algunos pétalos presentaron un tinte rojizo muy ligero de percibir, pero estimulada por la irradiación; por su parte, en 70 Gy se obtuvo una sola espiga que floreció para dar origen a 12 flores, mientras que en el testigo hubo emisión de espiga.

Cosecha

La formación de cormillos quedó inhibida en todas las dosis, por lo cual sólo se logró colectar un cormo para evaluar una segunda generación. Ni la floración ni la emisión de cormillos fueron consideradas como criterios para seleccionar la intensidad de irradiación en cormos.

La existencia de variabilidad en las características vegetativas evaluadas es evidencia del estímulo expresado con las dosis aplicadas, dependiendo de la variedad de gladiolo. La principal ventaja de la inducción de mutaciones en cultivos de propagación vegetativa es la capacidad de cambiar caracteres de cultivares por lo demás sobresalientes (Rahemi et al. 2022). En este sentido, Jankowicz-Cieslak et al. (2017) mencionan que el mejoramiento genético por irradiación ha contribuido sustancialmente a la economía mundial y a la conservación de la biodiversidad, al detener la erosión génica. Respecto al manejo de cultivos, dicho mejoramiento se relaciona con el manejo de plagas y enfermedades, uno de los principales objetivos en el mejoramiento agrícola, en el que se evaluarán los genotipos obtenidos en posteriores ensayos.

CONCLUSIONES

Las dosis de irradiación a 30 y 60 Gy estimularon las características vegetativas en los dos cultivares de gladiolo. En la variedad roja borrega, se presentó mayor altura respecto a la variedad blanca borrega, aunque en esta última fue en la que mayor grosor de tallo se expresó.

La GR_{30} en altura de planta se determinó a una dosis de 60.73 Gy para el cultivar blanca borrega y a 68.094 Gy para el cultivar roja borrega, mientras que el rango óptimo de irradiación se determinó entre 60 y 70 Gy

Las dosis de 80, 90 y 100 Gy afectaron la brotación y el crecimiento vegetativo de la planta en los dos cultivares irradiados.

AGRADECIMIENTO

Al proyecto interno 4496/2018/CI de la Universidad Autónoma del Estado de México, por el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo. Al Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ), en especial al personal del Proyecto de Fitomejoramiento por Mutagénesis Radioinducida del Departamento de Biología.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Holguín A, Corrales-Lerma R, Morales-Nieto CR, Avendaño AC, Villarreal-Guerrero F. 2017. Dosis óptima de irradiación gamma con Co^{60} para inducción de mutagénesis en pastos (*Eragrostis lehmanniana*). Nova Scientia 19: 65-82. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.886>
- Álvarez-Holguín A, Morales-Nieto CR, Avendaño ACH, Corrales-Lerma R, Villarreal-Guerrero F, Santellano-Estrada E, Gómez-Simuta Y. 2019. Dosis letal media (DL50) y reducción de crecimiento (GR50) por irradiación gamma en pasto garrapata (*Eragrostis superba*). Revista Mexicana en Ciencias Pecuarias 10: 227-238. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4327>
- Brito A, Ángeles A. 2016. Inducción de mutantes con Co^{60} y selección de quimeras en cacahuete (*Arachis hypogaea*) tipo virginia. Acta Universitaria 26: 11-17. <https://doi.org/10.15174/au.2016.1044>
- Iglesias-Andreu LG, Sánchez-Velásquez LR, Tivo-Fernández Y, Luna-Rodríguez M, Flores-Estévez N, Noa-Carranza JC, Ruiz-Bello CC, Moreno-Martínez JL. 2010. Efecto de radiaciones gamma en *Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et. Cham. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16: 5-12. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.06.021>
- Jankowicz-Cieslak J, Mba C, Till BJ. 2017. Mutagenesis for crop breeding and functional genomics. En: Jankowicz-Cieslak J, Tai T, Kumlehn J, Till B, editores. Biotechnologies for Plant Mutation Breeding. Cham, Springer. P. 3-18. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45021-6_1
- Karki K, Srivastava R. 2010. Effect of gamma irradiation in gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.). Pantnagar Journal and Research 8: 55-63.

- Khalil SA, Zamir R, Ahmad N. 2014. Effect of different propagation techniques and gamma irradiation on major steviol glycoside's content in *Stevia rebaudiana*. Journal of Animal and Plant Sciences 24: 1743-1751.
- Lemus Y, Méndez-Natera JR, Cedeño JR, Otahola-Gómez V. 2002. Radiosensibilidad de dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) a radiaciones gamma. Revista UDO Agrícola 2: 22-28.
- Madriz-Martínez M, Fernández-Acuña A, Hernandez-Villalobos S, Orozco-Rodríguez R, Argüello-Delgado J. 2022. Radiosensibilidad del arroz (*Oryza sativa* L. var CR5272) por irradiación gamma en Costa Rica. Cultivos Tropicales 43: e08.
- Rahemi MR, Mohammadi M, Azimi MH, Amiripari M, Nori M. 2022. Genetic diversity in gladiolus by using gamma rays. Journal of Nuclear Research and Applications 2: 32-35.
- Ramchander S, Ushakumari R, Arumugam MP. 2015. Lethal dose fixation and sensitivity of rice varieties to gamma radiation. Indian Journal of Agricultural Research 49: 24-31. <https://doi.org/10.5958/0976-058X.2015.00003.7>
- Reid MS. 2023. Produce Facts Gladiolus. Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Postharvest Technology Research & Information Center. [citado 2024 oct 9]. Disponible en: <https://postharvest.ucdavis.edu/es/produce-facts-sheets/gladiolo>
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [internet]. 2023. Anuario del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [citado 2024 oct 12]. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singh RA, Bhuj BD, Srivastava R, Chand S, Singh NK, Singh BY, Dasila H, Bhatt R, Kahkashan PK, Bukhari NA. 2024. Determination of lethal and mutation induction doses of gamma rays for gladiolus (*Gladiolus grandifloras* Hort.) genotypes. Heliyon 10: e37387. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37387>
- Sisodia A, Singh AK. 2014. Influence gamma irradiation on morphological changes, post harvest life and mutagenesis in gladiolus. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology 7: 535-545. <https://doi.org/10.5958/2230-732X.2014.01358.8>
- Thole V, Antoine P, Worland B, Nicholson P, Doonan JH, Vian P. 2011. T-DNA mutagenesis in *Brachypodium distachyon*. Journal of Experimental Botany 10: 567-576. <https://doi.org/10.1093/jxb/err333>
- Yadav A, Singh B, Singh SD. 2019. Impact of gamma irradiation on growth, yield and physiological attributes of maize. Indian Journal of Experimental Biology 57: 116-122.