



Efecto de rayos gamma ^{60}Co sobre semillas de dos cultivares de *Glycine max* (L.) Merrill y evaluación de la primera generación de mutantes

Effect of ^{60}Co gamma rays on seeds of two cultivars of *Glycine max* (L.) Merrill and evaluation of the first generation of mutants

Noraida de Jesús Pérez León* , Lazaro A. Maqueira López , Osmany Roján Herrera ,
Arnel Páez López 

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas 32700, Mayabeque, Cuba

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 30/04/2025

Aceptado: 08/08/2025

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflicto de intereses

CORRESPONDENCIA

Noraida de Jesús Pérez León
noraidadejesusperezleon@gmail.com



CF: cag051252453

RESUMEN

Contexto: La mayoría de productos agrícolas que conocemos son el resultado del mejoramiento genético que tiene como finalidad la potenciación de las plantas con relación a su entorno y alcanzar un mayor rendimiento. **Objetivos:** Evaluar la radiosensibilidad en dos cultivares de soya (*Glycine max* (L.) Merrill) frente a diferentes dosis de rayos gamma de ^{60}Co , para su empleo en la mejora genética. **Métodos:** Los trabajos de laboratorio y campo se desarrollaron en la Unidad Científico Tecnológica de Base, Los Palacios, Cuba. Las semillas maduras de soya se irradiaron con una fuente de ^{60}Co y se evaluó el porcentaje de germinación, altura de las plántulas, longitud de las raíces. Además, se determinaron las curvas dosis-efecto, la DL_{50} , GR_{50} , y se seleccionaron los rangos de dosis de radiación para el proceso de mejora. De igual forma, se evaluó el número total de legumbres y granos, número de granos por legumbre, la masa total de granos y el índice de cosecha, a la primera generación de mutantes del cultivar 'DT-26'. **Resultados:** La radiación no tuvo efecto en la germinación, mientras que la supervivencia, la altura de las plántulas y longitud de las raíces disminuyeron con el aumento de la dosis. Dosis de 300 y 400 Gy, para el cultivar 'DT-26' y, también de 500 Gy, para el cultivar 'INCASOY 36', comprenden los rangos de dosis con mayores probabilidades de inducir mutaciones. **Conclusiones:** Las dosis de irradiación propuestas generaron líneas élites de soya que superan al control no irradiado en caracteres de interés agronómico.

Palabras clave: granos, radiaciones gamma, radiosensibilidad, semilla

ABSTRACT

Context: Most agricultural products we know are the result of genetic improvement aimed at enhancing plants in relation to their environment and achieving higher yields. **Objectives:** To evaluate the radio-sensitivity of two soybean cultivars (*Glycine max* (L.) Merrill) to different doses of ^{60}Co gamma rays for use in genetic improvement. **Methods:** Laboratory and field work was carried out at Unidad Científico Tecnológica de Base, Los Palacios, Cuba. Mature soybean seeds were irradiated with a ^{60}Co source, and the percentage of germination, seedling height, and root length were evaluated. In addition, dose-effect curves, LD_{50} , and GR_{50} were determined, and radiation dose ranges were selected for the improvement process. Similarly, the total number of pods and seeds, number of seeds per pod, total seed mass, and harvest index were evaluated in the first generation of mutants of the 'DT-26' cultivar. **Results:** Radiation had no effect on germination, while survival, seedling height, and root length decreased with increasing dose. Doses of 300 and 400 Gy for the 'DT-26' cultivar and 500 Gy for the 'INCASOY 36' cultivar comprise the dose ranges most likely to induce mutations. **Conclusions:** The proposed irradiation doses generated elite soybean lines that outperform the non-irradiated control in agronomically important traits.

Keywords: grains, gamma radiation, radiosensitivity, seed

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura estima que la producción mundial de alimentos debe aumentar en un 70% para alimentar el crecimiento proyectado de la población mundial de alrededor de siete a nueve mil millones de personas para 2050. Esto no se puede lograr sin aumentar la productividad de la tierra y conservar los recursos naturales frente a la gran cantidad de desafíos severos planteados, incluidos el cambio climático, la sequía, las inundaciones, la erosión del suelo y la salinización que afectan la productividad de los cultivos y convierten a la agricultura en una actividad cada vez más riesgosa (FAO/OIEA, 2021).

La soya (*Glycine max* (L.) Merrill) es una leguminosa de origen asiático y la principal oleaginosa a nivel mundial. Es uno de los alimentos más estudiados por científicos desde hace décadas, debido a que es la fuente de proteínas de origen vegetal más completa por el contenido de aminoácidos y por sus efectos reductores del colesterol y otros favorables a la salud humana. Son múltiples los alimentos, de bajo costo para los consumidores, que se derivan de la soya para la alimentación humana, por lo que constituye una fuente barata y de gran calidad, tanto para la alimentación humana como del ganado (Durán *et al.*, 2021; Vogel *et al.*, 2021; Oyarvide *et al.*, 2022).

En Cuba, en los últimos años, se potencia el cultivo de soya, principalmente por la limitación de alimentos para el consumo humano y para la alimentación animal y porque se puede sembrar prácticamente durante todo el año. La búsqueda de altos rendimientos en el cultivo implica un buen manejo de los diferentes factores que lo pueden afectar, como la producción de semillas, el riego, la fertilización y contar con cultivares adaptados para enfrentar los posibles escenarios de cambio climático (Romero *et al.*, 2023).

La abrumadora mayoría de productos agrícolas que conocemos y empleamos, no son el resultado de la evolución natural de las plantas, sino de la manipulación de los humanos, ya que el mejoramiento genético en los cultivos tiene como finalidad potenciar las plantas con relación a su entorno y alcanzar un mayor rendimiento para satisfacer sus necesidades. Las mutaciones y la variabilidad genética causada por estas desempeñan una función fundamental en el mejoramiento genético de las plantas, representan una opción rápida y efectiva para el desarrollo de nuevos cultivares que conservan los niveles óptimos de productividad en entornos desafiantes para la agricultura (Barrientos-Alfaro *et al.*, 2024).

Esta herramienta eficaz ha sido ampliamente utilizada en el mejoramiento genético de plantas, teniendo un gran éxito a nivel mundial, ya que ha permitido

la liberación de más de 3 332 cultivares mutantes, en más de 240 especies. Esta técnica ha contribuido de manera significativa a la seguridad alimentaria y nutricional a nivel mundial, durante las últimas siete décadas, mediante su aplicación en el desarrollo de cultivares con mayor rendimiento, con comportamiento estable o mejorado ante fenómenos de cambio climático, como sequía, altas temperaturas, inundaciones y resistencia a plagas (de los Santos, 2021). En América Latina y el Caribe, el mejoramiento por mutaciones se ha utilizado en especies propagadas por semillas y cultivos de propagación vegetativa. Por su parte, en Cuba se han obtenido nuevos cultivares de soya, arroz (*Oryza sativa* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.) y Flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) (De la Fé *et al.*, 2000; González, 2015), pero la búsqueda de nuevos cultivares de soya continúa siendo un objetivo en la mejora genética del cultivo. El estudio de la radiosensibilidad del material vegetal a tratar constituye un paso previo inviolable para el desarrollo exitoso de todo trabajo de mejora por inducción de mutaciones, ya que en este sentido se conoce que existe variabilidad en los rangos de dosis entre diferentes cultivares y especies vegetales y los resultados obtenidos coinciden en afirmar que la dosis letal media y la tasa de crecimiento medio son valores específicos para cada especie, genotipo e incluso tamaño y tipo de tejido irradiado (Ali Zafar *et al.*, 2022; Jaén *et al.*, 2024).

Teniendo en cuenta los mencionados antecedentes y la importancia de obtener información sobre el rango de dosis a aplicar con mayores probabilidades de inducir mutaciones, que permitan la selección de nuevos cultivares adaptados a los efectos del cambio climático, se llevó a cabo la presente investigación que tuvo como objetivo evaluar la radiosensibilidad de dos cultivares de soya frente a diferentes dosis de rayos gamma con ^{60}Co , para su empleo en la mejora genética.

MATERIALES Y MÉTODOS

Semillas maduras de dos cultivares de soya 'INCASOY 26', obtenidas por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) y 'DT-26', procedente de Vietnam, fueron cosechadas y llevadas al 14% de humedad en la Unidad Científico Tecnológica de Base, ubicada en Los Palacios, perteneciente al INCA. Aquellas fuera de tipo o enfermas fueron desecha-

das, y el resto empaquetadas holgadamente en sobres de papel y etiquetadas con el nombre de cada cultivar, fecha y dosis de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 y 1 000 Gy, para posteriormente irradiar, con la fuente de ^{60}Co MPX Gamma 25-M, con potencia de $0,28 \text{ Gy s}^{-1}$ perteneciente al Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo de la Energía Nuclear. Además, se preparó, en igualdad de condiciones, un sobre con semilla no irradiada para su empleo como control.

Una vez irradiadas las semillas, se utilizó el método de la placa de Petri propuesto por FAO/OIEA (2021), se desinfectaron mediante inmersión en una solución de lejía que contenía 20 mL de hipoclorito de sodio en 180 mL de agua y unas gotas de Tween 20, durante 10 min y posteriormente se enjuagaron tres veces con agua esterilizada para eliminar la solución desinfectante. A continuación, utilizando tres placas de Petri por tratamiento, con 100 semillas cada una, mediante un diseño completamente al azar, se humedeció el papel de filtro con agua esterilizada y se envolvieron en papel aluminio. Se mantuvieron a 30°C , en cámara de crecimiento, con humedad en el papel y oscuridad hasta la germinación.

A las 24, 48, 72 y 96 h se evaluó el número de semillas germinadas, y a los 15 días se midió la altura de la planta y la longitud de la raíz (cm), usando una regla graduada y a los 30 días se contabilizó la supervivencia. Con los datos obtenidos se determinaron los porcentajes de germinación, las curvas dosis-efecto para los caracteres y cultivares evaluados, las dosis letales medias de irradiación gamma (DL_{50}) y la tasa media de crecimiento (GR_{50}) para cada cultivar y carácter evaluado.

A partir de los datos de supervivencia, longitud de raíces y tallos, se obtuvieron curvas de regresión con la dosis de irradiación, utilizando la fórmula general $y = bx + a$, donde 'y' se reemplazó por la mitad del valor del control para obtener la dosis (x) de irradiación capaz de crear variabilidad genética.

Posteriormente, en el área de campo de la propia institución, se sembraron tres parcelas con 100 semillas, cada una, del cultivar 'DT-26', irradiado con las dosis determinadas en el ensayo anterior y el control, sin irradiar, sobre un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso Petroférrico (Hernández *et al.*, 2015), a una distancia de 0,70 m entre surcos, con una densidad de 20 semillas por metro lineal y las labores fitotécnicas

se realizaron según lo recomendado en el Manual Técnico del Cultivo de la Soya (Esquivel, 1997).

Se evaluaron, de forma individual, en 20 plantas de la parcela control y en todas las plantas de las parcelas con semilla irradiada, en el momento de la cosecha, el número total de legumbres y granos, número de granos por legumbre, la masa total de granos (g), muestras que se secaron hasta alcanzar el 14% de humedad y se pesaron en una balanza analítica (KERNPLJ; e=0,01g). También, se determinó el índice de cosecha como el cociente de la masa seca de los granos entre la masa seca total de la parte aérea de la planta en el momento de la cosecha, expresado como porcentaje (Kaur *et al.*, 2017). Los datos de campo del control fueron promediados e introducidos en una matriz junto a los datos individuales de los mutantes, para ser procesados a través de un Análisis de Componentes Principales, mediante el paquete estadístico SPSS versión 11.0 sobre Windows (Microsoft Corporation).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación del porcentaje de germinación de semillas de los cultivares de soya 'INCASOY 36' y 'DT-26' frente a radiaciones gamma con ^{60}Co comenzó a las 24 h, con valores variables, pero superiores a 20% para todos los tratamientos (Figura 1), mientras que en sólo 48 h las semillas de todos los tratamientos y el control no irradiado del cultivar 'DT-26' alcanzaron valores superiores al 75% de germinación, pero, para 'INCASOY 36' fueron necesarias 76 h, en ambos casos esos valores no sufrieron variación después de siete días (datos no mostrados). Por lo que se

puede constatar que las dosis de irradiación empleada no afectaron la germinación de las semillas de los cultivares empleados en este estudio.

Se han encontrado resultados similares que afirman que la germinación de semillas de la mayoría de las especies no se ve alterada por la irradiación, ya que este agente físico aumenta la activación enzimática, con ello la tasa de división celular y puede estimular el proceso de germinación. En trabajos desarrollados con chícharo (*Pisum sativum* L.) por el contrario informan una reducción en el porcentaje de germinación con dosis crecientes de rayos gamma (Rakesh y Rakesh, 2017; Pérez *et al.*, 2019). También, en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Jaén *et al.* (2024) informaron que la germinación de las semillas presentó diferencias altamente significativas entre los tres cultivares y las dosis de irradiación empleadas con una disminución del proceso con el incremento de las dosis de irradiación.

Al analizar el crecimiento de tallos y raíces (Figura 2), se apreció disminución con el aumento de las dosis de irradiación en los dos cultivares de soya evaluados, aunque este efecto se hizo más marcado para la altura de las plantas que disminuyó alrededor de 12 cm para el cultivar 'DT-26' y 8 cm para el cultivar 'INCASOY 36' a partir de la dosis de 500 Gy, mientras que, para la longitud de la raíz se apreció una disminución de alrededor de 6 cm en ambos cultivares.

Estos resultados son similares a los descritos para otros materiales biológicos irradiados con ^{60}Co , como el ensayo desarrollado por De la Fé *et al.* (2000) con el cultivar de soya 'Cubasoy-23', por Pé-

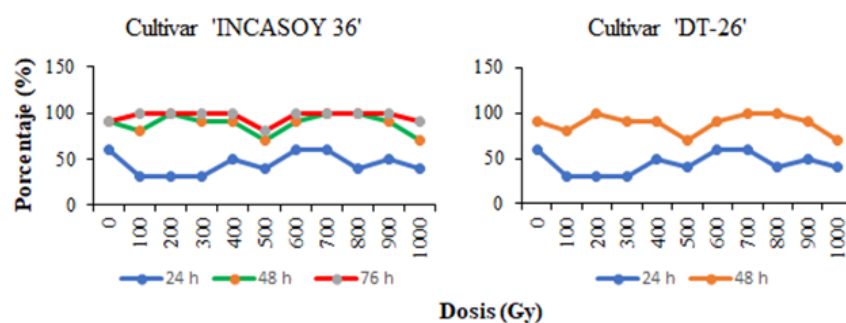


Figura 1. Porcentaje de germinación de semillas de los cultivares de soya 'INCASOY 36' y 'DT-26' irradiados con ^{60}Co y el control no irradiado (0 Gy) a las 24, 48 y 76 h.

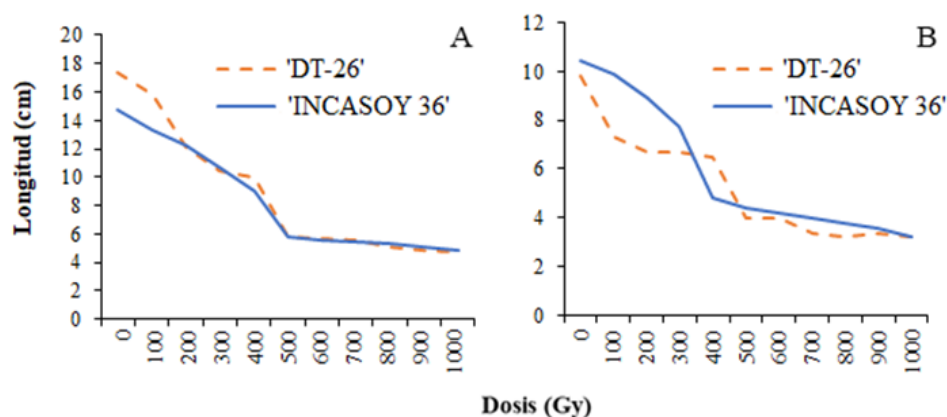


Figura 2. Efecto de la radiación gamma sobre los cultivares de soya 'INCASOY 36' y 'DT-26' irradiados con una fuente de ^{60}Co y el control no irradiado (0 Gy), 15 días después de la germinación. A) Altura de la planta (cm) y B) Longitud de raíz (cm).

rez *et al.* (2019) al evaluar semilla de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), y también Hazra *et al.* (2022) y Jaén *et al.* (2024) en tomate.

La supervivencia, en ambos cultivares, fue afectada con el incremento de las dosis de radiación con una reducción drástica a partir de la dosis de 400 Gy para el cultivar 'INCASOY 36' y 300 Gy para el cultivar 'DT-26' (Figura 3), lo que evidencia que diferentes cultivares pueden mostrar una respuesta diferente frente a la radiación, por lo que, la determinación de la dosis de radiación con fines de mejora genética constituye un paso importante en el proceso, ya que incluso diferentes lotes de semilla de un mismo cultivar pueden tener una respuesta diferente.

En este sentido, se ha afirmado que el estudio de la radiosensibilidad del material vegetal a tratar constituye un paso previo inviolable para el desarrollo exitoso de todo trabajo de mejora por inducción de mutaciones, siendo una práctica usual en todos los cultivos debido a la diferente radiosensibilidad de los materiales. Según De la Cruz *et al.* (2022), en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), existen diferentes grados de sensibilidad en caracteres tales como emergencia de yemas, altura de planta, número de macollos y longitud del entrenudo, así como entre cultivares evaluados.

Por su parte, hay informes que a dosis altas de radiación gamma se pueden crear delecciones, inserciones

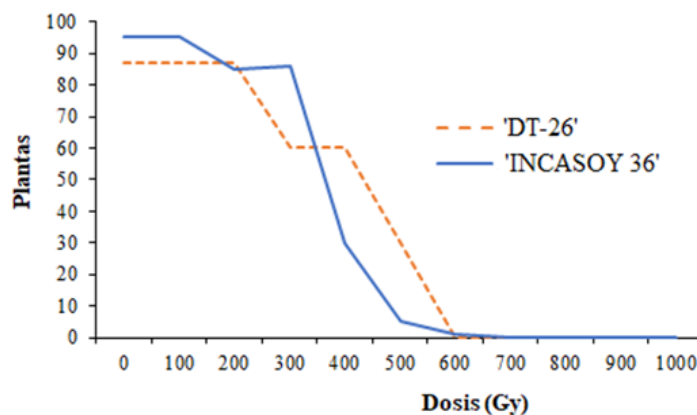


Figura 3. Porcentaje de supervivencia de los cultivares de soya 'INCASOY 36' y 'DT-26' irradiados con ^{60}Co y el control no irradiado (0 Gy) a los 30 días.

y traslocaciones de bases en el ADN, que pueden influir en la inhibición del crecimiento e incluso provocar la letalidad, así como inducir modificaciones indeseables de estructuras cromosómicas que inhiben la expresión de genes implicados en el ciclo celular. Dosis altas de irradiación provocan mayores daños en los cromosomas, lo que reduce la altura de la planta (Jaipo *et al.*, 2019; Jaén *et al.*, 2024).

Las ecuaciones de regresión de las curvas dosis-efecto, para los caracteres y cultivares evaluados (Tabla 1), aportaron valores diferentes para la DL_{50} y GR_{50} entre cultivares y para los caracteres evaluados para un mismo cultivar. Los cultivares de soya 'INCASOY 36' y 'DT-26' presentaron un rango para la dosis letal media entre 404 y 445 Gy, mientras que para la tasa de crecimiento medio estuvieron comprendidas entre 513 y 596 Gy, lo que nos indica que dosis altas lograron crecimiento de plantas y raíces, pero no permitieron su supervivencia.

Diversos estudios han abordado la temática de la variabilidad en los rangos de dosis entre diferentes cultivares y especies vegetales, quienes coinciden en afirmar que la dosis letal media y la tasa de crecimiento medio son valores específicos para cada especie, genotipo e incluso tamaño y tipo de tejido irradiado (Ali Zafar *et al.*, 2022; Jaén *et al.*, 2024).

Al parecer, el cultivar 'DT-26' es más sensible a la irradiación, evidenciado con una tasa de crecimiento

medio de planta y raíz alcanzado con dosis inferiores, aunque un valor más alto para la dosis letal media. Considerando los resultados antes mencionados y que la dosis del mutágeno debe ser lo suficientemente alta como para aumentar la probabilidad de inducir una mutación, pero por debajo del nivel dañino para las células, sin generar efectos deletéreos, se seleccionaron las dosis de 300 y 400 Gy para irradiar semillas del cultivar 'DT-26' y se adiciona 500 Gy para el cultivar 'INCASOY 36'.

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de determinar la radiosensibilidad de cada cultivar que se va a utilizar en el mejoramiento por mutaciones, ya que responden de manera diferente a los agentes mutagénicos. Los cultivos en los que es más fácil aplicar el mejoramiento por mutaciones son los anuales, autógamos, propagados por semillas, ya que estos últimos son ideales para la inducción de mutaciones y los ciclos de vida cortos significan que las generaciones mutantes se pueden producir rápidamente y de igual forma obtener nuevos cultivares (FAO/OIEA, 2021).

Al analizar los valores y vectores propios, resultantes del Análisis de Componentes Principales efectuado a la evaluación de caracteres de las líneas sembradas en campo (Tabla 2), se observó que las dos primeras componentes extrajeron el 87,3% de la variabilidad total. Por su parte, en el primer componente las va-

Tabla 1. Ecuaciones de regresión de las curvas dosis-efecto, dosis letal media (DL_{50}) y tasa de crecimiento medio de planta y raíz (GR_{50}) de los cultivares de soya 'INCASOY 36' y 'DT-26' irradiados con ^{60}Co .

Cultivares		Gy	Ecuación de regresión
'INCASOY 36'	DL_{50}	404	$y = -0,1192x + 95,7$
	GR_{50} Planta	596	$y = -0,0106x + 13,7$
	GR_{50} Raíz	590	$y = -0,0077x + 9,7$
'DT-26'	DL_{50}	445	$y = -0,1113x + 93$
	GR_{50} Planta	513	$y = -0,0129x + 15,3$
	GR_{50} Raíz	563	$y = -0,0062x + 8,4$

Tabla 2. Valores propios y porcentaje de contribución y acumulado de las componentes 1 y 2, y sus correlaciones con las componentes originales.

	Componentes principales	
	C1	C2
Valores propios	3,20404	1,16254
% Contribución total	64,081	23,251
% Acumulado	64,081	87,332
Total de legumbres	0,512849	0,208228
Total de grano	0,540849	0,145848
Granos por legumbres	-0,120032	0,840278
Masa de los granos	0,533623	0,162768
Índice de cosecha	0,381193	-0,450343

riables más importantes fueron el número total de legumbres y granos, así como la masa de los granos, todas positivas, mientras que, en el segundo componente fueron los granos por legumbres (positivas) y el índice de cosecha (negativo), quienes proporcionaron la mayor contribución.

El Análisis de Componentes Principales, según la contribución de las dos primeras componentes, representadas por todos los caracteres evaluados (Figura 4) mostró dispersión en la distribución de los individuos, lo que pudiera ser una evidencia de la variabilidad generada por el efecto de las dosis de irradiación. En este sentido, se conoce que la inducción artificial de mutaciones (mutagénesis) representa una opción rápida y efectiva para el desarrollo de programas de fitomejoramiento (Riviello-Flores *et al.*, 2022).

En los cuadrantes de la derecha se ubican un grupo de líneas que superan al control no irradiado en el número total de vainas y granos, así como la masa de los granos, mientras que los mejores genotipos se ubican en el cuadrante superior derecho, con los valores más altos, además, de granos por vainas y del índice de cosecha.

Las técnicas de mutagénesis permiten mejorar características de interés agronómico y económico en las plantas tales como mejor rendimiento, mayor diversidad genética, y tolerancia a estrés biótico y abiótico (Bhoi *et al.*, 2022). Por su parte la preferencia del empleo de agentes físicos como las radiaciones gamma con una fuente de ^{60}Co , para el mejoramiento, se debe a su habilidad para penetrar el tejido y la simplicidad de la metodología de irradiación (Barrientos-Alfaro *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

La dosis de radiación gamma con una fuente de ^{60}Co aplicadas a las semillas de los cultivares de soya 'DT-26' e 'INCASOY 36' no afecta su germinación, mientras que, la supervivencia, la altura de las plantas y longitud de las raíces disminuyen con el aumento de la dosis. Se recomienda emplear las dosis de 300 y 400 Gy para irradiar semillas del cultivar 'DT-26' y además 500 Gy para 'INCASOY 36', las que comprenden rangos a aplicar con mayores probabilidades de inducir mutaciones, así como obtener líneas que superan, al control no irradiado, en caracteres de interés agronómico. métodos de apli-

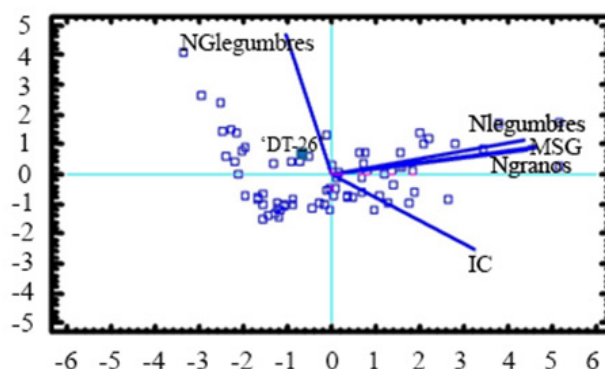


Figura 4. Representación gráfica del comportamiento de las líneas generadas a partir del culti varde soya 'DT-26', irradiado con ^{60}Co y el control no irradiado, según los componentes considerados. 'DT-26'- Control no irradiado; Nlegumbres- Total de legumbres; Ngranos- Total de granos; NGlegumbres- Granos por legumbres; MSG- Masa de los granos; IC- Índice de cosecha.

cación, así como evaluar el efecto en otros cultivares y condiciones de almacenamiento.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Gestión de proyectos: Noraida de Jesús Pérez León, Lazaro A. Maqueira López

Conceptualización: Noraida de Jesús Pérez León

Primera redacción: Noraida de Jesús Pérez León

Revisión y edición: Noraida de Jesús Pérez León, Lazaro A. Maqueira López, Osmany Roján Herrera

Investigación: Noraida de Jesús Pérez León, Lazaro A. Maqueira López, Osmany Roján Herrera, Arnel Páez López

Metodología: Noraida de Jesús Pérez León, Lazaro A. Maqueira López, Osmany Roján Herrera, Arnel Páez López

BIBLIOGRAFÍA

- ALI ZAFAR, S., ASLAM, M., ALBAQAMI, M., ASHRAF, A., HASSAN, A., IQBAL, J., MAQBOOL, A., NAEEM, M., AL-YAHYAI, R. and TAN KEE ZUAN, A. 2022. Gamma rays induced genetic variability in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29 (5): 3300-3307.
- BARRIENTOS-ALFARO, F. C., PÉREZ, J. y HERNÁNDEZ-SOTO, A. 2024. Inducción de mutaciones y biotecnología vegetal para la produc-

ción de cultivos resistentes a condiciones de estrés y con mayor rendimiento. *Tecnología en Marcha*, 37 (especial): 143-157.

BHOI, A., YADU, B., CHANDRA, J. and KESHA-VKANT, S. 2022. Mutagenesis: A coherent technique to develop biotic stress resistant plants. *Plant Stress*, 3 (100053): 1-10.

DE LA CRUZ, R., HERNÁNDEZ, M., SANTA-CRUZ, A., SILVA, E. G., DE LA CRUZ, E., BARRIOS, E. J., TREJO, V. y MUÑOZ, A. 2022. Dosis altas de radiación gamma (Cobalto 60) disminuyen la expresión fenotípica de caracteres en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5 (4): 3694-3709.

DE LA FÉ, C., ROMERO, M., ORTIZ, R. y PONCE, M. 2000. Radiosensibilidad de semillas de soya a los rayos gamma ^{60}Co . *Cultivos Tropicales*, 21 (2): 43-47.

DE LOS SANTOS, S. 2021. *Inducción de mutaciones: Estado del conocimiento en el mejoramiento de plantas en América Latina y el Caribe*. Primera edición, Editorial Fontamara, México, 208 p.

DURÁN, C., CARRILLO, M., LÓPEZ, J. y BALSECA, M. 2021. Evaluación morfológica y rendimiento de la variedad de soya (*Glycine max* L. Merrill) INIAP 307 en respuesta a la fertilización orgánica y mineral. *Ecociencia*, 8 (6): 64-76.

- ESQUIVEL, M. A. 1997. *El cultivo y utilización de la soya en Cuba*. Manual Técnico, Asociación Cubana de Producción Animal, 56 p.
- FAO/OIEA. 2021. *Manual de mejoramiento por mutación*. Tercera edición, FAO, Viena, 263 p.
- GORAI, S., BHATTACHARYA, S., BOSE, S., HAZRA, P., CHATTOPADHYAY, A. and MAJI, A. 2022. Radio-sensitivity of diverse tomato genotypes with respect to optimization of gamma irradiation dose. *Brazilian Journal of Botany*, 45: 917-927.
- HERNÁNDEZ, A. J., PÉREZ, J. M. J., BOSCH, D. I. y CASTRO, N. S. 2015. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Primera edición, Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p.
- GONZÁLEZ, M. C. 2015. Dogo, nuevo cultivar cubano de Flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) obtenido por inducción de mutaciones con rayos gamma ⁶⁰Co. *Cultivos Tropicales*, 36 (4): 133.
- JAÉN, J. E., GONZÁLEZ, M. C., CAMARGO, I., SAÉZ, A. E., GUILLAMA, R. y GUERRA, J. A. 2024. Radiosensibilidad de tres variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) irradiadas con rayos gamma de Cobalto-60. *Agronomía Mesoamericana*, 35: 54329.
- JAIPO, N., KOSIWIKUL, M., PANPUANG, N. and PRAKRAJANG, K. 2019. Low dose gamma radiation effects on seed germination and seedling growth of cucumber and okra. *Journal of Physics*, 1380: 012106.
- KAUR, R., SINGH, H. and SINGH, J. 2017. Yield and yield attributes of soybean (*Glycine max* L.) as affected by seed priming. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6 (12): 4285-4293.
- OYARVIDE, H., ARCE, T., LOOR, W. y QUIÑÓNEZ, G. 2022. La soya en Ecuador: importancia y alternativas para su producción sustentable con rentabilidad económica. *Agroalimentaria*, 28 (55): 19-38.
- PÉREZ, N. J., CASTRO, R. I. and ECHEVARRÍA, A. 2019. Genetic improvement of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.) by gamma irradiation. *Biotechnología Aplicada*, 36 (2): 2231-2234.
- RAKESH, C. V. and RAKESH, P. 2017. Effects of gamma radiations on seed germination and morphological characteristics of pea (*Pisum sativum* L.). *Indian Journal of Plant Sciences*, 6 (3): 21-25.
- RIVIELLO-FLORES, M. d. L. L., CADENA-IÑIGUEZ, J., RUIZ-POSADAS, L. D. M., ARÉVALO-GALARZA, M. D. L., CASTILLO-JUÁREZ, I., SOTO HERNÁNDEZ, M. and CASTILLO-MARTÍNEZ, C. R. 2022. Use of gamma radiation for the genetic improvement of underutilized plant varieties. *Plants*, 11 (9): 1161.
- ROMERO, A., RUZ, R. M. y LEYVA, S. L. 2023. Comportamiento agropoructivo de tres cultivares de *Glycine max* (L.) Merrill. *Pastos y Forrajes*, 46: e12.
- VOGEL, J., LIU, W., OLHOFT, P., CRAFTS, S., PENNYCOOKE, J. and CHRISTIANSEN, N. 2021. Soybean yield formation physiology – A Foundation for precision breeding-based improvement. *Frontiers in Plant Science*, 12: 719706.

CITAR COMO:

PÉREZ LEÓN, N. J., MAQUIERA LÓPEZ, L. A., ROJÁN HERRERA, O., PÁEZ LÓPEZ, A. 2025. Efecto de rayos gamma ⁶⁰Co sobre semillas de dos cultivares de *Glycine max* (L.) Merrill y evaluación de la primera generación de mutantes. *Centro Agrícola*, 52 (2025) e2453



Artículo de **libre Acceso** bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.