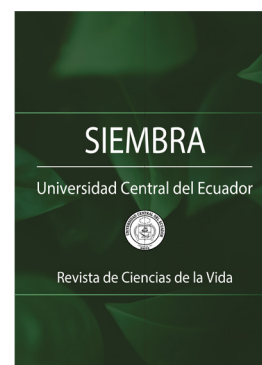


Efecto de la irradiación con rayos gamma sobre la morfología de dos cultivares *in vitro* de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott)

Effect of gamma ray on the morphology of two *in vitro* taro cultivars (*Colocasia esculenta* L. Schott)

Heidy Guadalupe Corea Narváez¹, Rosario del Socorro García Loáisiga², Guillermo del Carmen Reyes Castro³, Yosmara Belén Martínez Martínez⁴, Yarin José Briones Ramírez⁵



Siembra 12 (1) (2025): e7438

Recibido: 05/11/2024 / Revisado: 18/12/2024/ Aceptado: 24/02/2025

¹ Universidad Nacional Agraria, Dirección de Ciencias Agrarias. Kilómetro 12.5 carretera Norte. CP 453. Managua, Nicaragua.

✉ heidycorea12@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-1095-8218>

² Profesional independiente. Managua, Nicaragua.

✉ rosariocomp@yahoo.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-4433-9917>

³ Universidad Nacional Agraria. Carazo, Nicaragua.

✉ memoreyes0309@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0003-0164-437X>

⁴ Profesional independiente. Managua, Nicaragua.

✉ martinezbelen1697@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0009-0000-5965-6221>

⁵ Profesional independiente. Managua, Nicaragua.

✉ jaringbriones1@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0009-0004-4195-9039>

* Autor de correspondencia:

heidycorea12@gmail.com

Resumen

En Nicaragua se siembran dos cultivares de malanga (Lila y Blanca) (*Colocasia esculenta* L. Schott) ninguno tolerante a factores bióticos o abióticos. El cultivo requiere agua abundante y en Nicaragua la época lluviosa no es suficiente para cumplir con las necesidades hídricas (1.800-2.500 mm año⁻¹). Las radiaciones gamma constituyen una herramienta para acelerar los programas de mejoramiento genético. En este estudio se evaluó el efecto de la irradiación con rayos gamma, como fuente de inducción de mutaciones en la exomorfología de dos cultivares de malanga. Plantas *in vitro* de malanga Lila y Blanca se irradiaron con 0 (testigo), 5, 10, 15, 20, 25 y 30 Gy de rayos gamma. Se evaluó altura de planta (cm), número de hojas, número de brotes, número de raíces, porcentaje de sobrevivencia, dosis de reducción de crecimiento en 50% [DR₅₀] y dosis letal 50% [DL₅₀]. En ambos cultivares las variables mostraron una correlación negativa con las dosis de irradiación; a medida que las dosis aumentaron, la altura de planta, el número de hojas, brotes y raíces disminuyó. La dosis de irradiación óptima en malanga Lila fueron 10, 13 y 16 Gy, en malanga Blanca fueron 20, 25 y 30 Gy. El 100% de sobrevivencia en malanga Blanca se registró en el testigo y las dosis 5 y 10 Gy; y en malanga Lila en el testigo y la dosis 5 Gy. La DL₅₀ en malanga Lila fue de 19 Gy y en malanga Blanca la DL₅₀ fue de 53 Gy.

Palabras clave: prueba de radiosensibilidad, inducción de mutaciones, mejora mutacional, mutagénesis física.

Abstract

In Nicaragua, two taro cultivars (Lila and Blanca) (*Colocasia esculenta* L. Schott) are cultivated, yet neither cultivar exhibits tolerance to biotic or abiotic factors. The crop requires abundant water, and in Nicaragua the rainy season is insufficient to meet water requirements for this crop. Gamma radiation has been identified as a tool to accelerate plant breeding programs. The present study evaluated the effect of gamma ray irradiation as a source of mutation induction in the morphology of two taro cultivars. *In vitro* plants of Lila and Blanca taro were irradiated with 0 (control), 5, 10, 15, 20, 25 and 30 Gy of gamma rays. The variables evaluated were plant height (cm), leaf number, shoot number, root num-

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 12, núm 1, 2025

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7438>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

ber, survival percentage, 50% growth reduction dose [DR₅₀] and 50% lethal dose [DL₅₀]. In both cultivars the variables presented a negative correlation with the irradiation doses; as the doses increased, plant height, number of leaves, shoots and roots decreased. The optimal irradiation doses for Lila taro were determined to be 10, 13 and 16 Gy, while for Blanca taro these doses were 20, 25 and 30 Gy. In the case of Blanca taro, 100% survival was recorded in the control and at the 5 and 10 Gy doses. In the case of Lila taro, 100% survival was recorded in the control and at the 5 Gy dose. The LD₅₀ in Lila taro was determined to be 19 Gy, while in Blanca taro, the LD₅₀ was established as 53 Gy.

Keywords: radiosensitivity test, mutation induction, mutational improvement, physic mutagenesis.

1. Introducción

La malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott) es miembro de la familia Araceae y originario del sureste de Asia entre la India e Indonesia (López Zada et al., 1984). En Nicaragua se siembran dos cultivares de malanga (Lila y Blanca) el cultivar de mayor producción es la malanga Lila, conocida también como malanga Coco, debido a que se exporta, alto potencial de rendimiento, y consumo nacional. Ninguno de los cultivares es tolerante a factores bióticos o abióticos (Enríquez Juárez y Mairena Úbeda, 2011).

El ciclo fenológico de la malanga varía entre siete a nueve meses en los que requiere agua abundante (entre 1.800 y 2.500 mm año⁻¹) (López Zada et al., 1984). En Nicaragua, la época lluviosa es de seis meses y en ciertas ocasiones no es suficiente para abastecer las necesidades hídricas del cultivo. Nicaragua es vulnerable ante sequías afectando casi el 45% de la población a nivel nacional (Ramírez et al., 2010). Razón por la cual se deben generar cultivares tolerantes a la sequía, permitiendo seguridad en la producción agrícola, en condiciones adversas del país.

La malanga posee flores unisexuales, pistiladas en la base del espádice y estaminadas en el extremo, con un grupo de flores estériles entre ambas zonas, con un proceso de polinización irregular, por lo que la producción de semilla es poco frecuente (López Zada et al., 1984; Lozada Barrera, 2005), y la hibridación o mejora por cruzamiento se dificulta. Para la obtención de variación genética se emplean, los rayos gamma que son mutágenos físicos que han demostrado ser útiles en la generación de nuevas variantes de rasgos que pueden dar lugar a la mejora de los cultivos (Babaei, 2010; Antúnez-Ocampo et al., 2017).

La aplicación de radiaciones gamma combinada con el cultivo de tejidos en malanga constituye una herramienta para acelerar los programas de mejoramiento genético (Martirena-Ramírez et al., 2018), obteniendo mutaciones viables de alta frecuencia en un gran número de cultivares de diferentes especies (Ilyas y Naz, 2014).

Para poder realizar un programa de mejora por mutaciones se debe iniciar conociendo el tratamiento mutagénico apropiado para esto, lo que implica determinar la radiosensibilidad y la dosis que produce una reducción del 50% del crecimiento vegetativo, la que se estima a través de la respuesta fisiológica del material irradiado (Sarsu et al., 2021a).

En Nicaragua no se han realizado estudios en malanga sobre mutaciones inducidas con rayos gamma, es por esto que el estudio evaluó el efecto de la irradiación con rayos gamma, como fuente de inducción de mutaciones en la exomorfología de dos cultivares de malanga (Lila y Blanca) para conocer la dosis óptima de irradiación para ambos cultivares y posteriormente irradiar en masa para la obtención de un mutante promisorio tolerante al estrés hídrico.

2. Materiales y Métodos

2.1. Ubicación del estudio

Las plantas *in vitro* de malanga Lila y Blanca fueron establecidas en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales [LCTV] de la Universidad Nacional Agraria [UNA], en Managua, Nicaragua, ubicado en las coordenadas 12°08'58,3" latitud norte y 86°09'37,0" longitud oeste, y fueron trasladadas a Cuba para ser irradiadas con rayos gamma.

En el laboratorio de cultivos de tejidos del Instituto de Investigación en Viandas Tropicales [INIVIT] en Santo Domingo, Cuba, ubicado en las coordenadas 22°35'08,2" latitud norte y 80°13'35,2" longitud oeste,

se realizó la preparación de los explantes. La irradiación de los explantes con rayos gamma se realizó en el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear [CEADEN], de la Habana, Cuba, ubicado en las coordenadas 23°07'08,9" latitud norte y 82°25'28,5" longitud oeste. Los explantes irradiados se trasladaron al LCTV de la UNA para su evaluación.

2.2. Diseño metodológico

Se estableció un diseño completamente al azar [DCA], con dos factores: dosis de irradiación y cultivares, siete tratamientos y treinta observaciones por tratamiento. Los tratamientos estudiados fueron las dosis de irradiación gamma: 0 (testigo), 5, 10, 15, 20, 25 y 30 Gray [Gy].

2.3. Preparación del material vegetal

En laboratorio de cultivo de tejidos del INIVIT se diseccionaron las plantas *in vitro* para la obtención de ápices meristemáticos y se sembraron 5 ápices meristemáticos en tubos Eppendorf de 5 ml con medio de cultivo líquido MS con 4 repeticiones por dosis.

Se utilizó el irradiador Isogamma LLC Co con una fuente de Cobalto 60 y una dosis rango: 0.006xGy h⁻¹ perteneciente al CEADEN donde se irradiaron los explantes. Se utilizaron el control y las dosis 5, 10, 15, 20, 25, y 30 Gy para ambos cultivares.

Una vez irradiados los explantes se trasladaron al laboratorio del INIVIT y se sembraron en frascos plásticos con medio de multiplicación (Murashige and Skoog 80% [MS] y suplementado con 100 mg l⁻¹ de Inositol, 0,1 mg l⁻¹ de Bencil Amino Purina, 10 mg l⁻¹ de vitaminas MS y 0,05 mg l⁻¹ de Ácido Indol Acético), se colocaron en el cuarto de incubación con intensidad luminosa de 3.000-5.000 lux durante seis días.

A los 30 días después de la irradiación [DDI] los explantes fueron transferidos sin cortes a un medio de multiplicación en el LCTV de la UNA.

2.4. Variables evaluadas

Se evaluaron las siguientes variables morfológicas a los 69 DDI:

- Altura de la planta (cm): para la medición de la altura de la planta se utilizó papel milimetrado estéril, y se midió a partir de la base del pseudotallo hasta la parte de la inserción del peciolo, tomando como referencia la hoja de mayor altura de la planta.
- Número de hojas (Unidad): Se contó el número de hojas totales por planta.
- Número de brotes (Unidad): Se contó el número de brotes totales por planta.
- Número de raíces (Unidad): Se contó el número de raíces totales por planta.
- Porcentaje de sobrevivencia (%): Se observaron y contabilizaron el número total de explantes que sobrevivieron a cada dosis de irradiación y se calculó el porcentaje
- Dosis de reducción de crecimiento en 50 % (DR₅₀): Se utilizaron las variables altura de planta y número brotes por poseer los coeficientes de determinación (R²) más altos. En cada variable se calculó el porcentaje de crecimiento comparando cada dosis con el tratamiento testigo (dosis 0) y calculando la dosis que reducía el 50% de crecimiento.
- Dosis letal del 50% (DL₅₀): Se contabilizaron las plantas sobrevivientes y se calculó la dosis que redujo la población en un 50%.

Para calcular la DR₅₀ y DL₅₀ se realizó un análisis de regresión lineal.

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de regresión lineal de las variables morfológicas de malanga Lila

En la Figura 1 se presentan las gráficas de tendencia, ecuación de regresión lineal y Coeficiente de determinación (R²) para cada variable morfológica evaluada del cultivar malanga Lila. En las variables evaluadas la curva de ajuste con base a la ecuación lineal mostró una correlación negativa entre cada variable y las dosis

de irradiación. A medida que las dosis aumentaron, la altura de planta, el número de hojas, brotes y raíces disminuyeron.

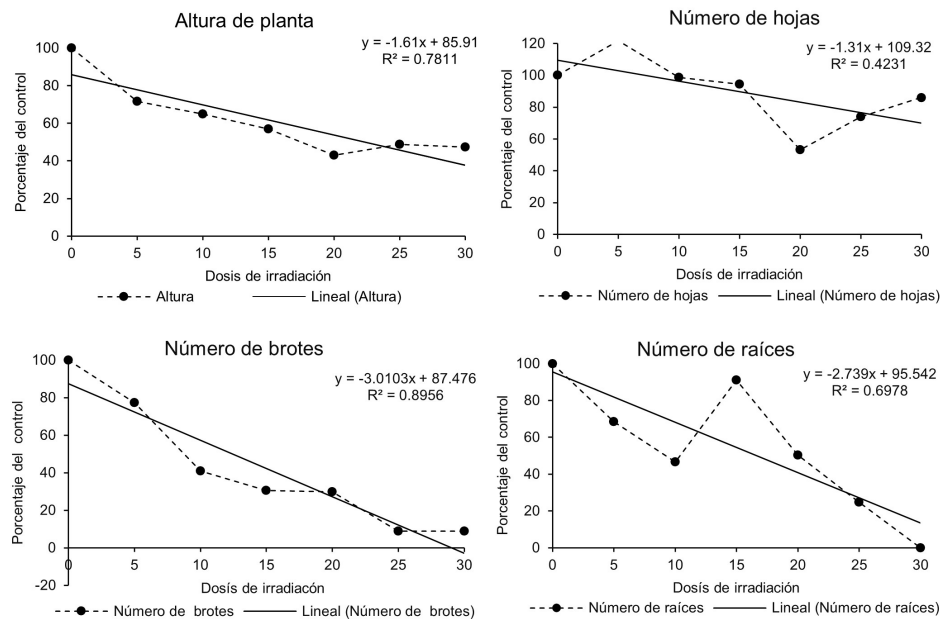


Figura 1. Análisis de regresión lineal de la dosis de irradiación y su efecto sobre las variables altura de planta, número de hojas, brotes y raíces de plantas *in vitro* de malanga Lila irradiadas con rayos gamma.

Figure 1. Linear regression analysis of the irradiation dose and its effect on the measured variables: plant height, number of leaves, number of shoots and number of roots, of *in vitro* plants of Lila taro irradiated with gamma rays.

Se tomó en cuenta el R^2 de cada variable: altura de planta (0,7811), número de hojas (0,4231), número de brotes (0,8956), número de raíces (0,6978), y se seleccionaron las variables altura de plantas y número de brotes para calcular la DR_{50} por presentar el coeficiente de determinación superior al resto de variables indicando un mejor ajuste (Figura 1).

La selección de variables que contribuyan a la obtención de una dosis óptima, debe tomarse con cuidado y debe tomarse en cuenta las condiciones fisiológicas de la planta, la altura de planta es recomendada por algunos autores (Sarsu et al., 2021a, Pérez Ponce, 1998); el número de brotes indica el potencial de propagación que poseen las plantas en la etapa *in vitro*, lo cual es necesario para multiplicar la planta en etapas posteriores y para la disgregación de las quimeras que se presenten producto de la inducción de mutaciones.

Un factor que afecta la formación de mutantes es la dosis de irradiación a la que los explantes están expuestos (Nurilmala et al., 2017), la tasa o dosis con frecuencia tiene un efecto significativo, tanto cualitativa como cuantitativamente, en los resultados obtenidos; por esta razón, la tasa de dosis debe elegirse cuidadosamente (Spencer-Lopes et al., 2021) y obtenerse una dosis óptima que pueda causar mutaciones sin causar un deterioro en las cualidades productivas de los cultivares.

La dosis requerida para causar mutaciones depende de los efectos deseados, el aumento de la dosis causa mutaciones drásticas como aberraciones cromosómicas y puede causar daño celular al meristemo apical, por lo que generalmente se prefieren dosis bajas (Sarsu et al., 2021a).

3.2. Análisis de regresión lineal de las variables morfológicas de malanga Blanca

En la Figura 2 se presentan las gráficas de tendencia, ecuación de regresión lineal y R^2 para cada variable morfológica evaluada del cultivar malanga Blanca. En las variables evaluadas la curva de ajuste con base a la ecuación lineal mostró una correlación negativa entre cada variable y las dosis de irradiación; a medida que se incrementaron las dosis, se observó una disminución en la altura de las plantas y en la cantidad de hojas, brotes y raíces.

Se tomó en cuenta el coeficiente de determinación R^2 de cada variable: altura de planta (0,8326), número de hojas (0,7515), número de brotes (0,7602), número de raíces (0,7701), Para calcular la DR_{50} se seleccionaron las variables altura de planta y número de brotes (Figura 2).

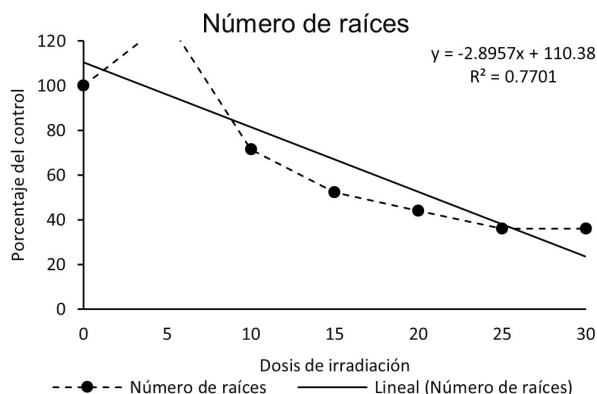


Figura 2. Análisis de regresión lineal de la dosis de irradiación y su efecto sobre las variables altura de planta, número de hojas, brotes y raíces de plantas *in vitro* de malanga Blanca irradiadas con rayos gamma.

Figure 2. Linear regression analysis of the irradiation dose and its effect on the measured variables: plant height, number of leaves, number of shoots and number of roots of *in vitro* plants of Blanca taro irradiated with gamma rays.

Las especies de reproducción asexual como es el caso de malanga pueden ser inducidas a mutaciones a través de la exposición del tejido somático a radiaciones ionizantes lo que puede provocar cambios en el material genético de sus células irradiadas (Robles Sánchez, 1986).

El número de plantas mutantes que solo llevan cambios deseables disminuirá si se induce más de una mutación por célula, para evitarlo se pueden tomar varias medidas, una de ellas es no se debe aplicar una dosis demasiado alta de ningún mutágeno (Mukhtar Ali Ghanim et al., 2021).

3.3. Dosis de reducción del 50% (DR_{50}) de las variables altura de planta y número de brotes en malanga Lila

Las dosis de irradiación para malanga Lila se calcularon promediando las DR_{50} de las variables altura de planta (17,5 Gy), número de brotes (8,8 Gy) y se obtuvo la dosis óptima de 13,15 Gy. Según algunos autores (Mukhtar Ali Ghanim et al., 2021; Spencer-Lopes et al., 2021) es aconsejable utilizar tres dosis de irradiación las cuales deben ser $\pm 20\%$ de la dosis óptima, para malanga Lila las dosis de irradiación obtenidas fueron: 10,50 (10 Gy), 13,15 (13 Gy), y 15,78 (16 Gy) (Figura 3).

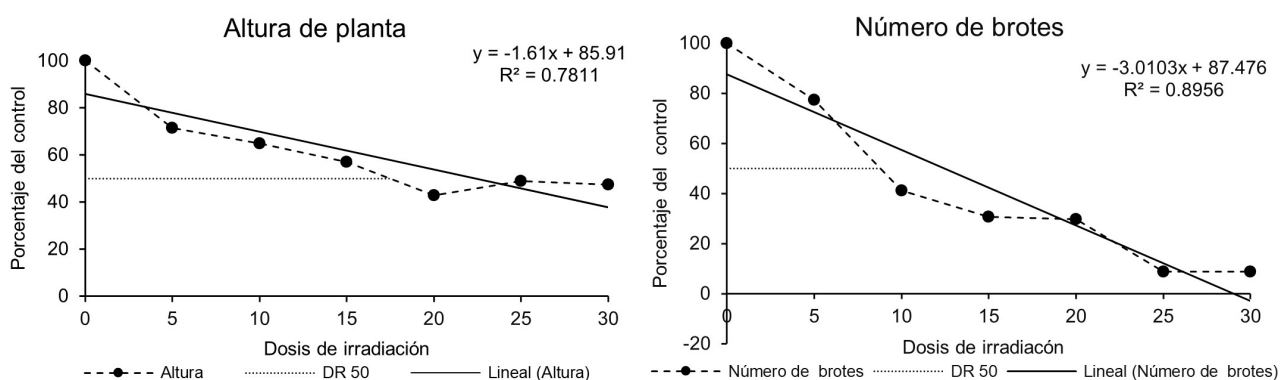


Figura 3. Análisis de regresión y dosis de reducción del 50% de las variables altura de planta y número de brotes de plantas *in vitro* de malanga Lila irradiada con rayos gamma.

Figure 3. Regression analysis and 50% reduction dose of plant height and shoot number of *in vitro* plants of Lila taro irradiated with gamma rays.

La determinación de la radiosensibilidad y la dosis que produce una reducción del 50% del crecimiento vegetativo [RD50] debe realizarse para estimar el tratamiento mutagénico más apropiado, la que se estima generalmente a través de la respuesta fisiológica del material irradiado (Sarsu et al., 2021b). Con la prueba de radiosensibilidad realizada se determinó que el tratamiento con rayos gamma que reduce el 50% la altura de planta y número de brotes en malanga Lila fue de 17,5 y 8,8, respectivamente.

En otros estudios se ha determinado que el 30% de la reducción del crecimiento del número de hojas en malanga fue con una dosis de 7,65 Gy (Seetohul et al., 2008). La capacidad de inducir mutaciones deseables con rayos gamma en malanga se ha alcanzado con la dosis de 10 Gy (Vasudevan y Jos, 1990). La dosis del 10 Gy es una dosis efectiva para el crecimiento del número de hojas, los tratamientos entre 15 y 20 Gy tienen un fuerte efecto de oscurecimiento en los explantes de malanga y no crecen bien, algunos mueren después de la tercera semana (Nurilmala et al., 2017). Las irradiaciones con rayos gamma Co60 como Fuente incrementa la variabilidad fenotípica en las poblaciones mutantes (Sahoo et al., 2015)

3.4. Dosis de reducción del 50% (DR_{50}) de las variables altura de planta y número de brotes en malanga Blanca

Las dosis de irradiación para malanga Blanca se calcularon promediando las DR_{50} de las variables altura de planta (32 Gy) y número de brotes (17 Gy) obteniendo la dosis óptima de 24,5 Gy. Las dosis óptimas de irradiación calculadas a partir del $\pm 20\%$ son 19,6 (20 Gy), 24,5 (25 Gy), y 29,4 (30 Gy) (Figura 4).

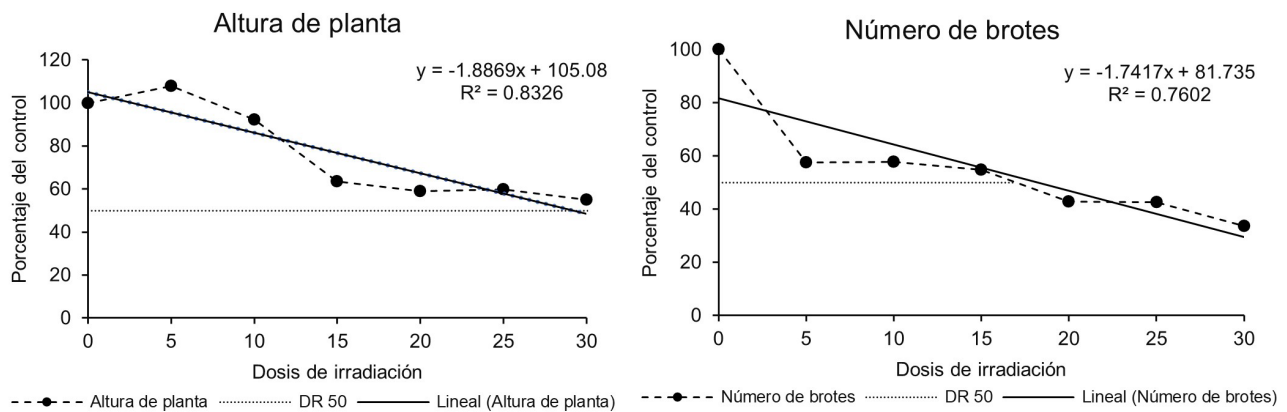


Figura 4. Análisis de regresión y dosis de reducción del 50% de las variables altura de planta y número de brotes de plantas *in vitro* de malanga Blanca irradiada con rayos gamma.

Figure 4. Regression analysis and 50% reduction dose of plant height and number of shoots of *in vitro* plants of Blanca taro irradiated with gamma rays.

En especies como *Agave furcroides* y *Agave tequilana* la dosis de reducción fue de 20 y 25 Gy para peso de materia fresca de callo, altura, y la inducción de brotes adventicios (Ángeles-Espino et al., 2013; González Oramas et al., 2007).

Los resultados obtenidos en malanga Lila y Blanca fueron similares a los obtenidos *Chrysanthemum morifolium*, *Lealia atumnalis* y *Saccharum officinarum* (Hernández-Muñoz et al., 2017; Latado, 1993; Otahola Gómez et al., 2001; Valdez Balero et al., 2004) las dosis de irradiación entre 10 a 30 Gy, reduce en un 50% el crecimiento de los explantes con diferencias con el testigo. Este comportamiento puede estar relacionado con el efecto fisiológico y citológico que producen las irradiaciones en las células mencionado por algunos autores (García Rodríguez et al., 2000).

Existe una fuerte correlación entre el genotipo y la sensibilidad del material vegetal a los tratamientos mutagénicos en las plantas. El aumento de la dosis causa mutaciones drásticas, como aberraciones cromosómicas, y puede causar daño celular en el meristemo apical, por lo que generalmente se prefieren dosis bajas, y se recomienda realizar ensayos preliminares para determinar las dosis apropiadas para cada material vegetal (Sarsu et al., 2021a). En este estudio las dosis de irradiación obtenidas en malanga Lila no superaron los 16 Gy, y en malanga Blanca no superaron los 30 Gy, siendo dosis bajas.

3.5. Porcentaje de sobrevivencia en los cultivares Malanga Blanca y Lila

En malanga Blanca el mayor porcentaje de sobrevivencia se registró en el testigo y los tratamientos 5 y 10 Gy con 100% y el menor en la dosis 30 Gy con 72,42%. En malanga Lila el testigo y 5 Gy registraron el mayor porcentaje de sobrevivencia (100%) y la dosis 30 Gy el menor (13,33%) (Figura 5).

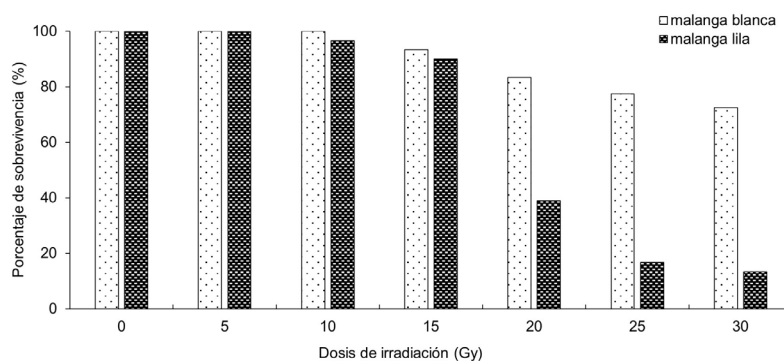


Figura 5. Efecto de la irradiación gamma sobre la sobrevivencia de malanga Blanca y Lila, evaluada a los 69 después de la irradiación.

Figure 5. Effect of gamma irradiation on the survival of Blanca and Lila taro, evaluated after 69 days of irradiation.

La radiosensibilidad puede variar con las especies, cultivares y el genotipo, con las condiciones fisiológicas de las plantas, los órganos, así como con los tipos de tratamientos mutagénicos a utilizar (Sarsu et al., 2021b). Es por lo que malanga Lila tiene una tasa de sobrevivencia inferior en las dosis a partir de los 20 Gy en comparación con malanga Blanca, mostrando mayor susceptibilidad a dosis altas. En otros estudios las dosis superiores a los 20 Gy fueron letales para los explantes *in vitro* de malanga (Seetohul et al., 2008).

3.6. Dosis letal del 50% (DL_{50}) en el cultivar Malanga Lila y Blanca

La DL_{50} para el cultivar malanga Lila fue de 19 Gy y dosis superiores a 25 y 30 Gy provocan mortalidad del 83,33 a 86,67% de los explantes irradiados (Figura 6). Ninguna de las dosis de irradiación utilizadas en este estudio produce la mortalidad del 50% de los explantes de malanga Blanca, se calculó la DL_{50} utilizando la ecuación regresión lineal simple y se obtuvo que 53 Gy es la DL_{50} .

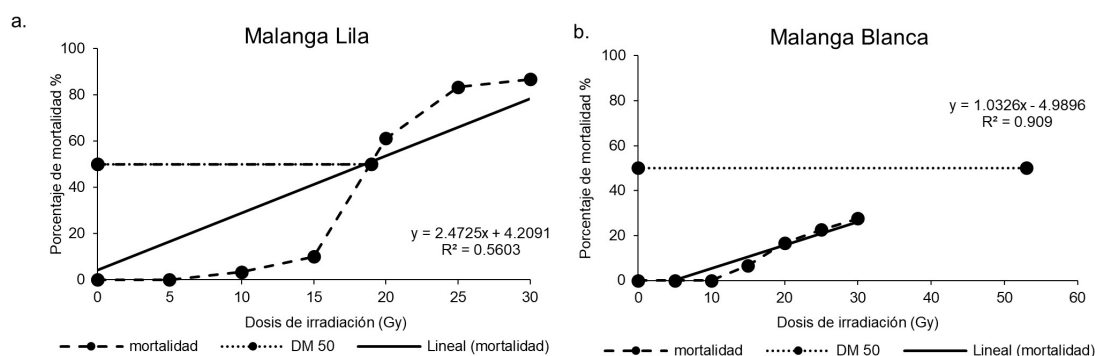


Figura 6. Dosis letal de plantas *in vitro* de: a. malanga Lila y b. malanga Blanca irradiadas con rayos gamma.

Figure 6. Lethal dose of *in vitro* plants irradiated with gamma rays: a. Lila taro and b. Blanca taro.

La DL_{50} corresponde a la cantidad de radiación absorbida con la cual sobrevive el 50% de la población que ha sido expuesta, proporción que se considera como el rango donde se favorece la aparición de mutaciones útiles en los programas de mejoramiento genético (Fuchs et al., 2002).

En otros estudios en malanga se obtuvo resultados similares con DL_{50} de 20 Gy de rayos gamma (Medero Vega et al., 2014), en *Polianthes tuberosa* L. determinaron DL_{50} de 25,91 Gy (Estrada Basaldúa et al., 2011), en papa Desirée fue de 10 Gy (Veitía et al., 2007) y en explantes de *Laelia autumnalis* fue de 53 Gy (Hernández-Muñoz et al., 2017)

Las DL_{50} en malanga Lila y Blanca fueron diferentes, porque no todos los genotipos poseen la misma radiosensibilidad a las radiaciones ionizantes y a los agentes mutagénicos, se ha demostrado que diferentes tipos de explantes (semillas o porciones vegetativas como yemas o ápices) tienen diferentes respuestas a un mismo tratamiento mutagénico (Medero Vega et al. 2014). Las dosis de irradiación seleccionadas para irradiar malanga Lila y Blanca fueron diferentes, la dosis 13 Gy para malanga Lila y 25 Gy para malanga Blanca

4. Conclusiones

La irradiación con rayos gamma tuvo un efecto en la morfología de malanga Lila y Blanca; a medida que la dosis aumentó, disminuyó la altura de la planta, hojas, brotes y raíces.

Las dosis óptimas de irradiación fueron mayores en malanga Blanca (20, 25 y 30 Gy) que en malanga Lila (10, 13 y 16 Gy).

Contribuciones de los autores

- Heeidy Guadalupe Corea Narváez: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, redacción – borrador original.
- Rosario del Socorro García Loáisiga: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología
- Guillermo del Carmen Reyes Castro: conceptualización, adquisición de fondos, administración del proyecto, recursos, supervisión.
- Yosmara Belén Martínez Martínez: investigación, metodología.
- Yarin José Briones Ramírez: investigación, metodología.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Ángeles-Espino, A., Valencia-Botín, A. J., Virgen-Calleros, G., Ramírez-Serrano, C., Paredes-Gutiérrez, L., y Hurtado-De la Peña, S. (2013). Determinación de la dosis letal (DL_{50}) con Co^{60} en vitroplántulas de *Agave tequilana* var. Azul. *Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 381-386. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/36-4/2a.pdf>
- Antúñez-Ocampo, O. M., Cruz-Izquierdo, S., Sandoval-Villa, M., Santacruz-Varela, A., Mendoza-Onofre, L. E., de la Cruz-Torres, E., y Peña-Lomelí, A. (2017). Variabilidad inducida en caracteres fisiológicos de *Physalis peruviana* L. mediante rayos gamma ^{60}Co aplicados a la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(2), 211-218. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.2.211-218>
- Babaei, A. (2010). Genetic Diversity Analysis of Nemat Rice Mutant (*Oryza sativa* L.) Via RAPD Marker. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 8(4), 452-456. [https://idosi.org/aejaes/aejaes8\(4\).htm](https://idosi.org/aejaes/aejaes8(4).htm)
- Enríquez Juárez, D. Y., y Mairena Úbeda, E. N. (2011). Efecto de dos condiciones de humedad del suelo y tiempo de cosecha sobre el rendimiento de malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott) para exportación Boaco - Nicaragua 2011. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2140>
- Estrada Basaldúa, J. A., Pedraza Santos, M. E., De la Cruz Torres, E., Martínez Palacios, A., Sáenz Romero, C., y Morales García, J. L. (2011). Efecto de rayos gamma ^{60}Co en nardo (*Polianthes Tuberosa* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(spe3), 445-458. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000900004&lng=es&tlng=es
- Fuchs, M., González, V., Castroni, S., Díaz, E., y Castro, L. (2002). Efecto de la radiación gamma sobre la diferenciación de plantas de caña de azúcar a partir de callos. *Agronomía Tropical*, 52(3), 311-324. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300004&lng=es&tlng=es
- García Rodríguez, L., Bermúdez Caraballos, I., Orellana Pérez, P., Veitia Rodríguez, N., García Rodríguez,

- L., Clavero García, J., Romero Quintana, C. (2000). Inducción de mutaciones por radiaciones Gamma en el cultivo *in vitro* de brotes del cultivar Gran Enano (AAA). *Biotecnología Vegetal*, 1, 45-50. <https://biolat.unam.mx/es/revista/biotecnologia-vegetal/articulo/induccin-de-mutaciones-por-radiaciones-gamma-en-el-cultivo-in-vitro-de-brotes-del-cultivar-gran-enano-aaa>
- González Oramas, G., Alemán García, S., Garriga, M., Ortiz, R., y de la Fe, C. (2007). Radiosensibilidad a rayos gamma (^{60}Co) en brotes de henequén. *Biotecnología Vegetal*, 7(2), 115-117. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/365>
- Hernández-Muñoz, S., Pedraza-Santos, M. E., López, P. A., De La Cruz-Torres, E., Fernández-Pavía, S. E., Martínez-Palacios, A., y Martínez-Trujillo, M. (2017). Determinación de la DL_{50} y GR_{50} con rayos gamma (^{60}Co) en protocormos de *Laelia autumnalis in vitro*. *Agrociencia*, 51(5), 507-524. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1307>
- Ilyas, S., y Naz, S. (2014). Effect of Gamma irradiation on morphological characteristics and isolation of curcuminoids and oleoresins of cúrcuma longa L. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 24(5), 1396-1404. <https://www.thejaps.org.pk/docs/v-24-5/18.pdf>
- Latado, R. R. (1993). *Inducao e uso de mutacoes "in vitro" no melhoramento do Chrysanthemum morifolium Ram.* Universidade de Sao Paulo. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-20220208-032802/>
- López Zada, M., Vázquez Becalli, E., y López Fleites, R. (1984). *Raíces y Tubérculos*. Pueblo y Educación.
- Lozada Barrera, A. F. (2005). *Producción del cultivo de papa china (Colocasia esculenta) utilizando dos métodos de propagación asexual bajo cuatro niveles de fertilización orgánica*. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5423/4/T-ESPE-IASA%20I-002856.pdf>
- Martirena-Ramírez, A., Veitia, N., García, L. R., Collado, R., Torres, D., Rivero, L., y Ramírez-López, M. (2018). Dosis óptima de radiaciones Gamma para la regeneración de plantas *in vitro* de *Phaseolus vulgaris* L. cultivar 'BAT-93'. *Biotecnología Vegetal*, 18(1), 21-32. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/572>
- Medero Vega, V. R., López Torres, J., Ventura Martín, J. de la C., Basail Pérez, M., Rayas Cabrera, A., Santos Pino, A., Beovides García, Y., Rodríguez Pérez, D., Torres Delgado, M., y Bravo Corrales, Y. (2014). Determinación de la dosis letal media *in vitro* para la inducción de mutaciones en malanga Colocasia. En *XIX Congreso Científico Internacional: VIII Simposio de Mejoramiento y Conservación de Recursos Fitogenéticos*. Cuba. <http://ediciones.inca.edu.cu/files/congresos/2014/CD/memorias/ponencias/talleres/MCF/ra/MCF-O.19.pdf>
- Mukhtar Ali Ghanim, A., Spencer, M. M., y Thomas, W. (2021). Mejoramiento por mutaciones de cultivos propagados por semillas: selección parental, desarrollo de generaciones mutantes, detección de mutaciones, evaluación de mutantes y factores que influyen en el éxito. En M. M. Spencer-Lopes, B. P. Forster, y L. Jankuloski (coords.), *Manual de mejoramiento por mutaciones* (3ª ed.) (pp. 99-128). FAO y OIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285es>
- Nurilmala, F., Hutagaol, R. P., Widhyastini, I. M., Widyastuti, U., y Suharsono, S. (2017). Somaclonal variation induction of Bogor taro (*Colocasia esculenta*) by gamma irradiation. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(1), 28-33. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180105>
- Otahola Gómez, V., Aray, M., y Antoima, Y. (2001). Inducción de mutantes para el color de la flor en crisantemos (*Dendrathera grandiflora* (Ram.) Tzvelev) mediante radiaciones gamma. *UDO Agrícola*, 1(1), 56-63. <http://saber.udo.edu.ve/index.php/udoagricola/article/view/3434>
- Pérez Ponce, J. N. (1998). *Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología*. Instituto de Biotecnología de las Plantas.
- Ramírez, D., Ordaz, J. L., Mora, J., Acosta, A., y Serna B. (2010). *Nicaragua efectos del cambio climático sobre la agricultura*. CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/25925>
- Robles Sánchez, R. (1986). *Genética elemental y fitomejoramiento práctico* (1ª ed.). Limusa.
- Sahoo, B. B., Kole, P. C., y Sahoo, M. R. (2015). Effects of γ irradiation on leaf blight disease of some taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) genotypes. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 6(1), 7-14. <https://ojs.pphouse.org/index.php/IJBSM/article/view/641>
- Sarsu, F., Penna, S., Kunter, B., e Ibrahim, R. (2021a). Mejoramiento por mutaciones de cultivos propagados vegetativamente. En M. M. Spencer-Lopes, B. P. Forster, y L. Jankuloski (coords.), *Manual de mejoramiento por mutaciones* (3ª ed.) (pp. 131-144). FAO y OIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285es>
- Sarsu, F., Spencer-Lopes, M. M., Sangwan, R., y Penna, S. (2021b). Técnicas específicas para aumentar la eficiencia del mejoramiento por mutaciones: Métodos *in vitro* en el cambio del mejoramiento de plantas

- por mutación. En M. M. Spencer-Lopes, B. P. Forster, y L. Jankuloski (coords.), *Manual de mejoramiento por mutaciones* (3ª ed.) (pp. 171-186). FAO y OIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285es>
- Seetohul, S., Puchooa, D., y Ranghoo-Sanmukhiya, V. M. (2008). Genetic Improvement of Taro (*Colocasia esculenta* var *esculenta*) through in-vitro mutagenesis. *University of Mauritius Research Journal*, 13A, 79-89. <https://www.ajol.info/index.php/umrj/article/view/130901>
- Spencer-Lopes, M. M., Jankuloski, L., Mukhtar Ali Ghanim, A., Matijevic, M., y Kodym, A. (2021). Mutagénesis física. En M. M. Spencer-Lopes, B. P. Forster, y L. Jankuloski (coords.), *Manual de mejoramiento por mutaciones* (3ª ed.) (pp. 5-41). FAO y OIEA. <https://doi.org/10.4060/i9285es>
- Valdez Balero, A., Orellana Pérez, P., Veitía Rodríguez, N., y Torres Rodríguez, D. (2004). Crecimiento, regeneración y radiosensibilidad de callos de caña de azúcar (*Saccharum spp.* híbrido var. “SP 70-1284”) tratados con radiación gamma fuente ^{60}CO . *Biotecnología Vegetal*, 4(3), 165-169. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/419>
- Vasudevan, K., y Jos, J. S. (1990). Methods to enhance solid mutation frequency in Colocasia. *Current Science*, 59(4), 226-227. <http://www.jstor.org/stable/24094796>
- Veitía, N., García, L., Bermúdez-Caraballoso, I., Orellana, P., Padrón, Y., y Torres, D. (2007). Efecto de las radiaciones gamma sobre callos de papa var. ‘Desirée’. *Biotecnología Vegetal*, 7(1), 57-61. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/358>