



ID del documento: SAI-Vol.4.N.1.005.2026

Tipo de artículo: Original

Efecto de diferentes dosis de rayos gamma (Co-60) sobre la sobrevivencia in vitro de papa Waycha (*Solanum tuberosum*) y Phureja (*Solanum phureja*)

Effect of different doses of gamma rays (Co-60) on the in vitro survival of Waycha potato (*Solanum tuberosum*) and Phureja potato (*Solanum phureja*)

Autores:

Raquel Tapia Quisbert¹, Alejandra Jhoseline Callejas Tapia²

¹Universidad Indígena Boliviana Comunitaria Intercultural Productiva Aymara Tupak Katari, raqueltq26@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-8519-499X>

²Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, alejandra.callejast@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5654-9369>

Corresponding Author: Raquel Tapia Quisbert, raqueltq@gmail.com

Reception date: 29-march-2026 **Acceptance:** 09-may-2026 **Publication:** 18-june-2026

How to cite this article:

Tapia Quisbert, R., & Callejas Tapia, A. J. (2026). Efecto de diferentes dosis de rayos gamma (Co-60) sobre la sobrevivencia in vitro de papa Waycha (*Solanum tuberosum*) y Phureja (*Solanum phureja*). *Sapiens Discoveries International Journal*, 4(1), 1-12. <https://doi.org/10.71068/jx0y4648>



©2026 por los Autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Resumen

El uso de rayos gamma (Co-60) fue considerado una alternativa para el mejoramiento genético de cultivos, el cual, en combinación con técnicas de biotecnología, permitió reducir el tiempo para la obtención de cultivares resistentes. La papa (*Solanum* sp.) fue un cultivo de gran importancia para la alimentación y la seguridad alimentaria. En este contexto, el objetivo fue evaluar el comportamiento in vitro de las variedades Waycha (*Solanum tuberosum*) y Phureja (*Solanum phureja*) y determinar la dosis letal media (DL50). Se aplicaron diferentes dosis de irradiación (15–18 Gy; 32–42 Gy; 46–53 Gy) a vitroplantas in vitro, utilizando yemas laterales como material vegetal. El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con tres repeticiones. Se evaluó el porcentaje de sobrevivencia y las características morfológicas del desarrollo. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las dosis de rayos gamma, mientras que no se encontraron diferencias entre variedades. La dosis letal media se ubicó en el rango de 32–42 Gy para ambas variedades. El incremento de la irradiación disminuyó progresivamente la sobrevivencia y afectó el desarrollo normal de las vitroplantas. A



dosis elevadas se observaron alteraciones morfológicas, como reducción del crecimiento y formación de estructuras tipo roseta. Se concluye que ambas variedades presentaron respuesta similar frente a la irradiación gamma, lo que permite considerar el rango de DL50 determinado como referencia para futuros estudios de mutagénesis inducida en papa.

Palabras clave: biotecnología; vitroplantas; irradiación; dosis letal media

Abstract

The use of gamma rays (Co-60) was considered an alternative for crop genetic improvement, which, in combination with biotechnology techniques, allowed a reduction in the time required to obtain resistant cultivars. Potato (*Solanum* sp.) was a crop of great importance for food and food security. In this context, the objective was to evaluate the in vitro response of the Waycha (*Solanum tuberosum*) and Phureja (*Solanum phureja*) varieties and to determine the median lethal dose (LD50). Different irradiation doses (15–18 Gy; 32–42 Gy; 46–53 Gy) were applied to in vitro plantlets, using lateral buds as plant material. The experiment was conducted under a completely randomized design with a factorial arrangement and three replications. The survival percentage and morphological development characteristics were evaluated. Data were analyzed using analysis of variance. The results showed significant differences among gamma radiation doses, while no differences were found between varieties. The median lethal dose was estimated within the range of 32–42 Gy for both varieties. Increasing irradiation progressively reduced survival and affected normal plantlet development. At higher doses, morphological alterations were observed, including reduced growth and the formation of rosette-type structures. It is concluded that both varieties exhibited a similar response to gamma irradiation, allowing the determined LD50 range to be considered as a reference for future studies on induced mutagenesis in potato.

Keywords: biotechnology; plantlets; irradiation; median lethal dose

1. INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum* sp), es importante para la alimentación y seguridad alimentaria, haciéndose necesario buscar alternativas de mejoramiento, pero el uso de técnicas convencionales para el mejoramiento genético, requieren años de estudio y trabajo, sin contar con la heterogeneidad y condiciones, el uso de rayos gamma (Co 60) combinados con técnicas de biotecnología, surgen como una alternativa para inducir mutaciones.

El uso de rayos gamma emitidos por el Cobalto 60, aplicados a diferentes cultivos crea una fuente de variación generando mutantes, es necesario encontrar el nivel que pueda generar estos cambios de manera eficiente, para encontrar plantas con las características a tolerancia a diferentes condiciones de estrés, pues “las radiaciones ionizantes, incluidos los rayos gamma, se han utilizado ampliamente como potentes mutágenos en las plantas” (Du et al., 2020). “La utilización de mutaciones inducidas en el mejoramiento genético de las plantas ha permitido la obtención de cultivares de alta adaptación en muchas especies” (Quinteros, 2012).





En este sentido el objetivo es el de evaluar el efecto de diferentes dosis de rayos gamma (Co-60) sobre la sobrevivencia y el comportamiento in vitro de las variedades de papa Waycha y Phureja, para determinar la dosis letal media (DL50).

Se planteó la hipótesis de que diferentes dosis de rayos gamma (Co-60) afectarían significativamente la sobrevivencia y el desarrollo in vitro de las variedades Waycha y Phureja. Para responder la pregunta de investigación: ¿Cómo afectan diferentes dosis de rayos gamma (Co-60) al comportamiento in vitro y a la dosis letal media (DL50) de las variedades de papa Waycha y Phureja?

2. DESARROLLO

Diversos estudios consideran que la cuenca del lago Titicaca constituye uno de los principales centros de origen y domesticación de la papa, debido a la presencia de especies silvestres relacionadas y evidencias tempranas de cultivo y utilización de este tubérculo en los Andes centrales (Rumold & Aldenderfer, 2016), asociado al desarrollo cultural de la sociedad Tiwanaku que se diseminó hacia todos los puntos cardinales, incluyendo Argentina y Chile, hacia el norte, influenciando culturas peruanas como Pucará y Wari que luego formaría el primer gran imperio Wari-Tiwanaku del Perú (A.D. 700-1100) (Morales, 2007), en la actualidad están ampliamente distribuidas en los diferentes ecosistemas del continente Americano, desde el norte de México hasta el sur de Chile. (Alfaro, 2006), en la actualidad se cultiva en más de 100 países, bajo condiciones de climas templados, subtropicales y tropicales, el mejor crecimiento de esta planta se da en regiones frías con noches frescas y días con alta radiación (Mosavi et al., 2018 citado por (Tirado-Lara & Tirado-Malaver, 2018), por lo cual la mayor cantidad de variabilidad genética de papa está en el sector de los Andes (Pumisacho & Sherwood, 2002; Rodríguez, 2019)

La papa tiene un lugar importante en la agricultura, economía y seguridad alimentaria, situándose en el cuarto lugar de los cultivos o alimentos que sustentan la nutrición a nivel mundial, después del maíz, el trigo y el arroz (FAO, 2009. Citado por Montalvo 2019). Para la gestión 2011/2012 la superficie cultivada era de 187.520 ha, con una producción de 1.030.839 toneladas y un rendimiento de 5,897 t/ha (INE, 2017), el Banco de Desarrollo Productivo, (2024) reporta un rendimiento promedio de papa en Bolivia de 8.43 t/ha con un total de área sembrada de 29.677,28 ha.

La región andina boliviana alberga una importante diversidad genética de papa, incluyendo variedades cultivadas y especies silvestres que representan recursos fundamentales para la conservación y el mejoramiento del cultivo (Cadima et al., 2014).





Esta técnica se basa en la capacidad de los rayos gamma para inducir mutaciones genéticas en las plantas, lo que permite desarrollar variedades con características deseables (Bhat, 2021)

"Los rayos gamma penetran profundamente en los tejidos vegetales, interactuando con el ADN y causando cambios en su secuencia nucleotídica"

Las técnicas nucleares en el mejoramiento de plantas son utilizadas para inducir mutaciones. Técnicas de inducción de mutaciones, en combinación con cultivo de tejidos y métodos moleculares, permiten disponer de una metodología para mejorar plantas propagadas vegetativamente como musáceas, papa, yuca y piña (Ahloowalia y Maluszynski, 2001 citado por Fuchs et al., 2002)

Los rayos gamma han sido los más eficientes tanto en las plantas que se propagan por semilla como en las que se propagan vegetativamente. Actualmente es uno de los métodos más utilizados. (Beshost, 1965; citado por Quinteros Mamani, 2012)

Las mutaciones de vegetales pueden ser efectuadas sometiendo estos a la acción irradiante de una fuente radioactiva como el cobalto 60, por su mayor poder de penetración, la radiación gamma es la que se usa para las aplicaciones en agronomía, para modificar las características de las plantas, semillas, etc. (Domínguez, 1999; citado por Quinteros Mamani, 2012)

"El cultivo in vitro consiste en tomar una porción de una planta (ej. el ápice, una hoja o segmento de ella, segmento de tallo, meristemo, embrión, nudo, semilla, antera, etc.) y colocarla en un medio nutritivo estéril (usualmente gelificado, semisólido) donde se regenerará una o muchas plantas" (Intagri, s. f.)

Cañal et al., (2001) cita a Holdgate y Zandvoort, (1992) indicando que la micropropagación es una técnica, que fue creada para producir en masa plantas, que ha sido utilizada desde los años 60. La ventaja principal de esta técnica por multiplicación rápida de material clonal libre de enfermedades, característica ha servido para introducir rápidamente en el mercado nuevas variedades de plantas obtenidas mediante selección, mutación, programas de mejora o manipulación genética.

3. METODOLOGÍA

La irradiación de las vitroplantas se realizó en el Centro Multipropósito de Irradiación dependiente de la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN), ubicada en la ciudad de El Alto. Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Indígena Boliviana Comunitaria Intercultural Productiva Aymara "Tupak Katari".

El material inicial, vitroplantas de papa Waycha y Phureja, fueron adquiridas del Centro Biotecnológico de Chachacomani, con una altura promedio de 8 cm.





El medio de cultivo se preparó con sales MS- Murashige y Skoog (1962), sacarosa al 30g/l, agar agar al 7g/l y el pH se ajustó a 5.7; luego se dispense en magentas (20 ml por magenta), posterior a ello se esterilizó a 121 °C y 1 atm de presión durante 15 minutos.

En la cámara de flujo laminar se multiplicó el material vegetal utilizando yemas laterales de aproximadamente 3 mm para obtener material homogéneo.", para luego establecerlas en magentas (25 yemas laterales/magenta). Para luego ser trasladadas a la sala de crecimiento.

Luego de dos días las vitroplantas se trasladaron a instalaciones de la Agencia Boliviana de Energía Nuclear para ser sometidas a diferentes dosis de Rayos Gamma (15-18 Gy; 32-42 Gy; 46-53 Gy), en un Irradiador Autoblindado Gamma con fuente de Cobalto 60.

El desarrollo y posterior evaluación se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la UNIBOL AYMARA TUPAK KATARI, utilizando un Diseño Completamente al Azar con arreglo bifactorial, donde el factor A correspondió a las variedades y el factor B a las dosis de irradiación con tres repeticiones, el análisis de varianza se realizó con el programa estadístico INFOSTAT (versión libre).

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación de las vitroplantas de papa Waycha y Phureja sometidas a diferentes dosis de rayos gamma (Co-60) se presentan a continuación. Para su análisis se consideró el porcentaje de sobrevivencia y las características de desarrollo observadas durante el período de evaluación.

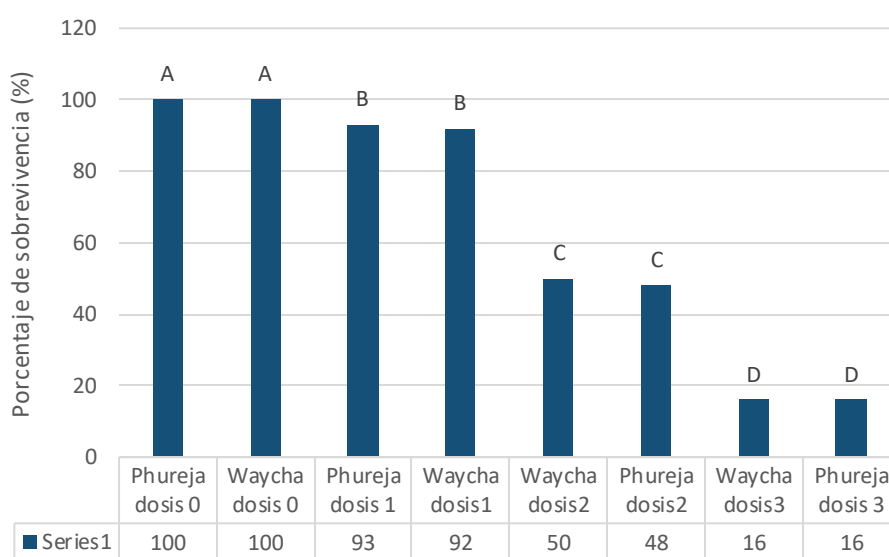
Tabla 1. *Análisis de varianza porcentaje de sobrevivencia de vitroplantas de papa por efecto de variedades y dosis de rayos Gamma*

Factor de Varianza	de	grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	p-valor	Sig.
FACTOR A (variedad)	A	1	0.04	0.04	0.0034	0.9543	NS
FACTOR B (dosis de rayos gamma)	B	3	27759.13	9253.04	752.79	<0.0001	**
FACTOR A*FACTOR B		3	4.12	1.37	0.11	0.9519	NS
Error		16	196.67	12.29			
Total		23	27959.96				

Nota. CV. 5.34 ***altamente significativo* * *significativo* NS *no significativo*.

En la tabla 1, se observa el análisis de varianza para el porcentaje de sobrevivencia por efecto de la variedad y dosis de rayos gamma a un nivel de significancia de 0.05, para el Factor A (variedades) no existe diferencias significativas, pero el Factor B (dosis de rayos gamma) las diferencias son altamente significativas, no existiendo diferencias entre la interacción entre el Factor A y el Factor B. Con un coeficiente de varianza de 5.34.

Figura 1. *Análisis Duncan para porcentaje de sobrevivencia de vitroplantas de papa por efecto de diferentes niveles de rayos Gamma*



Fuente: *Elaboración propia*

En la figura 1, en el análisis de comparación de medias de Duncan a un nivel de significancia de 0.05 para el efecto de las diferentes dosis de rayos Gamma en el porcentaje de sobrevivencia de vitroplantas de papa, se observa que con la dosis 0 (testigo) ambas variedades presentan un 100% de sobrevivencia, con la dosis 1 se reduce a 93% para Phureja y 92% para Waycha, con la dosis 2 se alcanza el DL 50 (Dosis Letal Media) para Waycha no existiendo diferencias significativas con la Phureja con 48%, en cambio para la dosis 3 tanto la Waycha como la Phureja alcanzaron un 16%

Figura 2. *Desarrollo de vitroplantas de papa Phureja y Waycha con diferentes dosis de Rayos Gamma*

a) Pureja



b) Waycha



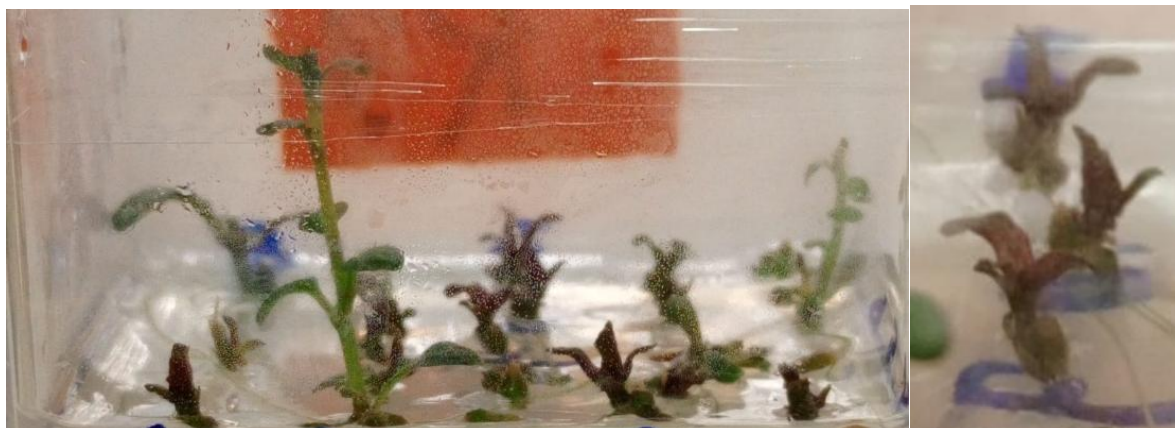
Nota: a) vitroplantas de papa Phureja, testigo, R1 irradiadas con dosis 1, R2 irradiadas con dosis y R3 irradiadas con dosis 3; b) vitroplantas de papa Waycha testigo, R1 irradiadas con dosis 1, R2 irradiadas con dosis y R3 irradiadas con dosis 3. **Fuente:** elaboración propia

En la Figura 2, a) se presenta la comparación del desarrollo de las vitroplantas de papa Phureja sometidas a diferentes dosis de irradiación, incluyendo el tratamiento testigo (sin irradiación), a las cinco semanas después de la exposición a rayos gamma provenientes de una fuente de Co-60. El tratamiento testigo mostró un desarrollo caracterizado por la formación de hojas, tallos y raíces, alcanzando una altura promedio de 7,2 cm y ocho hojas por planta. En la dosis 1, las vitroplantas presentaron tallos de mayor grosor y hojas con un mayor tamaño respecto al tratamiento testigo, registrando una altura promedio de 5,5 cm y un crecimiento relativamente homogéneo entre las plantas. En la dosis 2, el desarrollo de las vitroplantas fue heterogéneo. Aproximadamente el 48% de las plantas no presentó crecimiento, observándose síntomas como amarillamiento, desecación y formación de rosetas. Las demás plantas presentaron diferentes niveles de desarrollo. En la dosis 3, únicamente un promedio de 3 vitroplantas por frasco Magenta (equivalente al 16%) presentó desarrollo de tallos, hojas y raíces. En contraste, el 40% de las vitroplantas no mostró crecimiento (amarillamiento y desecación), mientras que un 44% presentó un crecimiento en forma de roseta, sin diferenciación del tallo.

En la figura 2, b) se observa un desarrollo de las vitroplantas de papa Waychas las hojas son más pequeñas en comparación al testigo, teniendo en promedio 5 cm de altura y 5 hojas por planta. En la dosis 2, el 50% de las vitroplantas desarrolló tallos y hojas, mientras que el 30% no presentó crecimiento y un 20% presentó formación de hojas en roseta. Las vitroplantas que presentaron desarrollo registraron una variación en altura entre 1.5 cm a 4.5 cm y entre hojas entre 4 y 6 hojas por planta. En la dosis 3, únicamente el 16% de las

vitroplantas desarrolló tallos y hojas, las demás vitroplantas presentaron crecimiento en forma de roseta como de observa en la figura 3.

Figura 3. Vitroplantas de papa irradiadas con dosis 3 (46Gy a 53Gy)



Nota: Vitroplantas de irradiadas con la dosis 46-53 Gy, que presentan crecimiento en forma de roseta. **Fuente:** Elaboración propia

A las cinco semanas de evaluación, las plantas irradiadas con la dosis 3, de las 25 vitroplantas establecidas por frasco magenta, con tres repeticiones, únicamente un promedio de tres plantas presentó formación de tallos y hojas. En contraste, la mayoría de las vitroplantas presentó un crecimiento en forma de roseta, sin diferenciación del tallo ni desarrollo de hojas.

5. DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza mostraron que la variedad no influyó significativamente en el porcentaje de sobrevivencia, mientras que la dosis de rayos gamma presentó un efecto altamente significativo. Asimismo, no se evidenció interacción entre ambos factores, lo que indica que las variedades Waycha y Phureja respondieron de manera similar al incremento de la dosis de irradiación. Esto sugiere una radiosensibilidad comparable entre ambas variedades bajo las condiciones evaluadas. En este sentido Gautam et al., (2021) señalan que, en *Solanum tuberosum* L. la respuesta a mutágenos físicos depende más de la dosis aplicada y de la etapa de desarrollo del tejido que de diferencias genotípicas marcadas, especialmente en rangos de dosis bajas a intermedios. Esta similitud es relevante para programas de mejoramiento, pues permite estandarizar protocolos de irradiación para ambas variedades sin ajustes específicos por genotipo.

La determinación de la DL50 constituye uno de los parámetros más importantes en programas de mutagénesis inducida, debido a que representa la dosis que permite generar una elevada frecuencia de mutaciones conservando una proporción adecuada de material vegetal viable. En la presente investigación, la DL50 se alcanzó con la dosis 2 (32–42 Gy), tanto para Waycha como para Phureja, lo cual coincide con lo reportado por Kaur et al. (2024) quienes indican



que en etapas tempranas de desarrollo in vitro, diferentes genotipos de *Solanum tuberosum* L. exhiben respuestas similares a la radiación gamma, mientras que las diferencias genotípicas se hacen más evidentes en etapas de regeneración y selección de mutantes.

Asimismo, Aycan et al. (2021) indican que la irradiación gamma constituye una herramienta eficiente para inducir variabilidad genética en *Solanum tuberosum* L., aunque el incremento de la dosis reduce progresivamente la sobrevivencia del material vegetal. Del mismo modo, Kaur et al. (2024) mencionan que las dosis próximas a la DL50 representan el mejor equilibrio entre la inducción de mutaciones y la conservación de la viabilidad de los explantes, aspecto que coincide con los resultados obtenidos en este estudio.

Los valores de DL50 obtenidos también difieren de los reportados por Pabón (2011), quien trabajando con vitroplantas de *Passiflora* irradiadas con Cobalto-60 encontró la dosis letal media alrededor de 50 Gy. Esta diferencia probablemente se relaciona con la especie vegetal utilizada y con el tipo de explante empleado, ya que en la presente investigación se utilizaron yemas laterales de papa cultivadas in vitro, las cuales poseen una mayor actividad meristemática y, por tanto, mayor sensibilidad a la radiación.

En este mismo sentido, Mohamed et al. (2021) y Pardo (2015) señalan que la DL50 varía considerablemente según la especie, el genotipo y, principalmente, la etapa de desarrollo del material vegetal. Los explantes jóvenes presentan mayor radiosensibilidad debido a la intensa actividad mitótica de sus células. Esta afirmación coincide con lo descrito por Evans (1965), quien explica que los tejidos meristemáticos son altamente susceptibles a la radiación ionizante porque las células en división presentan mayor probabilidad de sufrir roturas en el ADN y alteraciones del ciclo celular, afectando posteriormente su proliferación y desarrollo.

La mayor sensibilidad observada en las vitroplantas de papa también contrasta con los resultados obtenidos por Llanos (2015) en semillas de cañahua irradiadas entre 30 y 210 Gy, donde no fue posible determinar la DL50. El autor atribuye este comportamiento a la protección que ejercen los cotiledones sobre el embrión. En comparación, las yemas laterales utilizadas en la presente investigación exponen directamente los tejidos meristemáticos a la radiación, razón por la cual la dosis letal media se alcanzó con niveles considerablemente menores.

En la presente investigación, la formación de rosetas fue una de las alteraciones morfológicas más frecuentes observadas en las vitroplantas irradiadas, incrementándose conforme aumentó la dosis de rayos gamma. En la dosis 2 (32–42 Gy), aproximadamente el 20% de las vitroplantas presentó crecimiento en forma de roseta. En la dosis 3 (46–53 Gy), la frecuencia del fenómeno aumentó considerablemente, ya que únicamente el 16% de las vitroplantas logró desarrollar tallos y hojas normales, mientras que un promedio de 44% presentó





crecimiento en forma de roseta, caracterizado por la ausencia de elongación del tallo, escaso desarrollo foliar y, en varios casos, amarillamiento y desecación. Estos resultados evidencian una respuesta dependiente de la dosis, donde el incremento de la irradiación produjo un aumento en la frecuencia y severidad de las alteraciones morfológicas.

La formación de rosetas observada principalmente en las dosis elevadas constituye una alteración morfológica típica asociada a la mutagénesis física. Este fenotipo se caracteriza por inhibición de la elongación del tallo y crecimiento compacto, resultado del daño a tejidos meristemáticos apicales. Pabón, (2011) señala que dosis altas de radiación gamma afectan la división celular en los meristemos, provocando anomalías en la organogénesis y reduciendo la formación de tallos definidos. De manera similar, Villacrés, (2021) reporta que, en papa almacenada, la irradiación gamma induce cambios en la arquitectura de la planta debido a mutaciones en genes reguladores del desarrollo. La mayor incidencia de rosetas a dosis altas respalda que el fenómeno depende de la dosis y refleja alteraciones en la expresión génica relacionada con el crecimiento.

6. CONCLUSIÓN

Las variedades Waycha y Phureja no presentaron diferencias significativas en el porcentaje de sobrevivencia ni en su interacción con las dosis de radiación, lo que indica una respuesta similar frente a la irradiación gamma bajo las condiciones experimentales evaluadas.

La irradiación gamma influyó significativamente en la sobrevivencia de las vitroplantas de papa, evidenciándose una disminución progresiva del porcentaje de sobrevivencia a medida que aumentó la dosis aplicada. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para el factor dosis, confirmando que la radiación gamma constituye el principal factor responsable de las variaciones observadas en la respuesta de las plantas.

La Dosis Letal Media (DL50) para ambas variedades se encontró en el rango de 32 a 42 Gy, constituyéndose en la dosis más adecuada para la inducción de mutaciones, debido a que combina una reducción moderada de la viabilidad con la conservación de suficiente material vegetal para procesos de selección posteriores.

En cuanto al desarrollo de la vitroplantas varían según la dosis empleada pues a mayor dosis el desarrollo en relación a la altura planta y número de hojas varía, incrementándose esta variación a medida que la dosis sube. Como se observó para el testigo y la dosis 1 en la población de vitroplantas no se encontró mucha diferencia en el desarrollo de altura planta, pero a partir de la dosis 2, en la población irradiada las diferencias entre las alturas entre vitroplantas fue más evidente. Para la dosis 3 se notó que pocas plantas desarrollaron, siendo en su mayoría plantas en roseta, las cuales no desarrollaron tallos ni hojas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





- Alfaro, R. C. (2006). Sobre el origen, evolución y diversidad genética de la papa cultivada y la silvestre. *Ciencia y Desarrollo*, (10), Article 10. <https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.213>
- Bhat, T. A. (2021). *Mutagenesis, Cytotoxicity and Crop Improvement: Revolutionizing Food Science*. Cambridge Scholars Publishing.
- Cadima, X., van Zonneveld, M., Scheldeman, X., Castañeda, N., Patiño, F., & Beltran, M. (2014). Endemic wild potato (*Solanum* spp.) biodiversity status in Bolivia: Reasons for conservation concerns. *Journal for Nature Conservation*, 22(2), 113–131. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2013.09.007>
- Cañal, M. J., Rodríguez, R., Fernández, B., Sánchez-Tames, R., & Majada, J. P. (2001). Fisiología del cultivo in vitro. *Biotecnología Vegetal*, 1(1), Article 1. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/59>
- Du, Y., Hase, Y., Satoh, K., & Shikazono, N. (2020). Characterization of gamma irradiation-induced mutations in Arabidopsis mutants deficient in non-homologous end joining. *Journal of Radiation Research*, 61(5), 639–647. <https://doi.org/10.1093/jrr/rraa059>
- Evans, H. J. (1965). Effects of radiations on meristematic cells. *Radiation Botany*, 5(2), 171–182. [https://doi.org/10.1016/S0033-7560\(65\)80036-9](https://doi.org/10.1016/S0033-7560(65)80036-9)
- Fuchs, M., González, V., Castroni, S., Díaz, E., & 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_abstract&pid=S0002-192X2002000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Gautam, S., Solis-Gracia, N., Teale, M. K., Mandadi, K., Silva, J. A. da, & Vales, M. I. (2021). Development of an in vitro microtuberization and temporary immersion bioreactor system to evaluate heat stress tolerance in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700328>
- INE. (2017, julio 21). Producción de papa, tomate y cebolla en Bolivia es mayor a su importación. INE. <https://www.ine.gob.bo/index.php/produccion-de-papa-tomate-y-cebolla-en-bolivia-es-mayor-a-su-importacion/>
- Intagri. (s. f.). Cultivo in vitro de células y tejidos vegetal. Recuperado el 22 de noviembre de 2023, de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/cultivo-in-vitro-de-celulas-y-tejidos-vegetal>
- Kaur, R., Sharma, S. P., Kalia, A., Kaur, N., & Manchanda, P. (2024). In vitro induction and selection of mutants obtained through gamma irradiation with improved processing traits in potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Radiation Biology*, 100(1), 139–149. <https://doi.org/10.1080/09553002.2023.2245472>
- Llanos, M. D. V. (2015, septiembre 9). *Evaluación del efecto de la irradiación con rayos gamma (Cobalto-60) en tres líneas de cañahua (Chenopodium pallidicaule Aellen) en la provincia Ingavi-La Paz* [Tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés].
- Mohamed, E. A., Osama, E., Manal, E., Samah, A., Salah, G., Hazem, K. M., Jacek, W., & Nabil, E. (2021). Impact of gamma irradiation pretreatment on biochemical and molecular responses of potato growing under salt stress. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 35. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00233-8>
- Pabón, C. A. (2011). Inducción de mutaciones mediante radiaciones gamma de *Passiflora edulis* Sims var. *edulis*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8642>
- Pardo, A. A. (2015). Mutagénesis inducida en microbulbos de *Allium sativum* L. *Acta Agronómica*, 64(3), 254–259. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.44792>
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador* (2.a ed.). Editorial Abya Yala.
- Quinteros Mamani, R. V. (2012). *Evaluación de semilla de seis variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd) irradiadas con tres dosis de rayos gamma cobalto 60*





- (Co-60) en condiciones controladas [Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés].
- Rumold, C. U., & Aldenderfer, M. S. (2016). Late Archaic–Early Formative period microbotanical evidence for potato at Jiskairumoko in the Titicaca Basin of southern Peru. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(48), 13672–13677.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1604265113>
- Tirado-Lara, R., & Tirado-Malaver, R. H. (2018). Comportamiento de parámetros biométricos de clones para la obtención de papa baby con pulpa pigmentada. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 401–410.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.11>
- Villacrés, E. (2021). Efecto de la irradiación gamma sobre las características de calidad y la durabilidad de la papa almacenada (*Solanum tuberosum*). *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12(3).
<https://doi.org/10.18272/aci.v12i3.2025>

Declaración de Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no presentan conflictos de intereses relacionados con este estudio y confirman que todos los procedimientos éticos establecidos por esta revista han sido rigurosamente respetados. Asimismo, garantizan que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra revista académica.

Financiación: Los autores declaran que este estudio no recibió ningún tipo de financiación externa por parte de agencias públicas, privadas, ni de organizaciones sin ánimo de lucro. Todas las actividades de investigación, análisis y desarrollo fueron realizadas con recursos propios.

Contribución de Autoría:

Nombres de autores e iniciales: ejemplo, Raquel Tapia Quisbert (RTQ), Alejandra Jhoseline Callejas Tapia (AJCT),

1. Conceptualización: (RTQ) (AJCT)
2. Curación de datos: (AJCT)
3. Análisis formal: (RTQ)
4. Adquisición de fondos: (RTQ)
5. Investigación: (RTQ) (AJCT)
6. Metodología: (RTQ)
7. Administración del proyecto:
8. Recursos: (RTQ) (AJCT)
9. Software: (RTQ)
10. Supervisión: (RTQ)
11. Validación: (RTQ) (AJCT)
12. Visualización: (AJCT)
13. Redacción – borrador original: (RTQ) (AJCT)
14. Redacción – revisión y edición: (RTQ) (AJCT)

