



Original

## Dosis letal media para inducir mutaciones, con rayos gamma, en pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth)

Medium Lethal Dose of Gamma Rays to Induce Mutations in Caribgrass (*Eriochloa polystachya* Kunth)

Juan Carlos Gómez Villalva\*<sup>ID</sup>, Lucrecia Aguirre Terrazas\*\*<sup>ID</sup>, Luz Gomez Pando\*\*<sup>ID</sup>, Walter Reyes Borja\*<sup>ID</sup>, Johns Rodríguez Álava\*<sup>ID</sup>, Lenin Arana Vera\*<sup>ID</sup>

\*Docente Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Los Ríos, Ecuador.

\*\*Profesor Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

Correspondencia: [jgomez@utb.edu.ec](mailto:jgomez@utb.edu.ec)

Recibido: Octubre, 2019; Aceptado: Enero, 2020; Publicado: Marzo, 2020.

### RESUMEN

**Antecedentes:** Los rayos gamma se pueden utilizar para el mejoramiento genético de las plantas y generar mutaciones que puedan ser útiles. La investigación se realizó con el objetivo de determinar la dosis letal media (DL<sub>50</sub>) para inducir mutaciones, con radiación gamma, en pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth).

**Métodos:** Se irradiaron 8 600 estolones de 8 cm de largo con un nudo, cortados de plantas maduras de más de seis meses de edad con dosis de 0; 25; 50; 75 y 100 Gray de rayos gamma Co<sup>60</sup>. Se evaluó el porcentaje de establecimiento, altura de planta y mortalidad de los estolones. Los datos fueron analizados a través del análisis de regresión lineal probabilística.

**Resultados:** De acuerdo con la variable porcentaje de establecimiento, la DL<sub>50</sub>, es igual a 52,60 Gy para el genotipo estudiado, con R<sup>2</sup> de 57,73.

**Conclusiones:** Se concluye que la dosis media letal para inducir mutaciones en el pasto Janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth) se obtuvo con 52,60 Gy con R<sup>2</sup> de 57,73.

**Palabras clave:** establecimiento, fitomejoramiento, gramíneas, *in vitro*, radiación gamma (Fuente: AIMS)

### ABSTRACT

**Background:** Gamma radiation can be used for genetic breeding of plants, and to produce useful mutations. This research was performed in order to determine the medium lethal dose (LD<sub>50</sub>) of gamma radiation in Caribgrass (*Eriochloa polystachya* Kunth).

#### Como citar (APA)

Gómez Villalva, J., Aguirre Terrazas, L., Gomez Pando, L., Reyes Borja, W., Rodríguez Álava, J., & Arana Vera, L. (2020). Dosis letal media para inducir mutaciones, con rayos gamma, en pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth). *Revista de Producción Animal*, 32(1).



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

**Methods:** Overall, 8 600 stolons measuring 8 cm long, bearing a node, were cut from mature plants (over six month old), and were radiated with doses of 0, 25, 50, 75, and 100 Gray of gamma rays Co<sup>60</sup>. The establishment percentage, plant height, and stolon mortality were evaluated. The data were analyzed by probabilistic linear regression analysis.

**Results:** According to variable percentage of establishment, LD<sub>50</sub> was equal to 52.60 Gy, in the genotype studied, with an R<sup>2</sup> of 57.73.

**Conclusions:** The medium lethal dose to induce mutations of Caribgrass (*Eriochloa polystachya* Kunth) was achieved with 52.60 Gy.

**Key words:** establishment, plant breeding, graminaceae, *in vitro*, gamma radiation (*Source: AIMS*)

## INTRODUCCIÓN

El pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth) es una gramínea, conocida también con el nombre de pasto Caribe; es nativa de Sudamérica tropical, Centroamérica y el Caribe. Esta especie es perenne, de crecimiento rastrero y estolonífero, que alcanza una altura de hasta 1,20 m con buena producción de hojas de forma lanceolada y tallos huecos. Crece bien en zonas húmedas o en lugares bajos, los cuales en la época lluviosa permanecen con una buena lámina de agua, es poco tolerante a la época seca, de buena recuperación después de la quema (Bishop *et al.*, 1989). Su sistema radical es profundo, produce abundantes rizomas que originan capas gruesas y compactas de materia orgánica, que dan lugar a un piso firme en pantanos y esteros. Es una especie que produce poca semilla fértil y de muy baja viabilidad, por lo que su propagación se realiza con tallos y rizomas (Enríquez, Hernández, Quero y Martínez, 2015).

Según Nobel (1999) el pasto janeiro podría permitir incrementar la producción de forraje en zonas marginales; Sin embargo, en esta especie es difícil encontrar variabilidad genética para mejorar su potencial productivo y su calidad nutritiva, debido a su sistema reproductivo mayormente asexual y a su corto periodo de evolución en América.

En este sentido, la inducción de mutaciones puede ser una alternativa viable para hacer mejoramiento genético en esta especie, debido a que esta técnica es capaz de inducir variabilidad mediante el uso de agentes mutagénicos (Corrales, 2017)

Avendaño-Arrazate *et al.* (2012) y Rosenberg, Shee, Frisch y Hastings (2012) mencionan que las variaciones genéticas determinan el potencial para evolucionar ante cambios ambientales y perpetuar la especie; por lo tanto, la generación de variabilidad es fundamental para el mejoramiento genético de las especies; La variación genética se origina por inducción de mutaciones, hibridaciones intra e interespecífica y autopoloidia.

Se inducen mutaciones en plantas mediante el empleo de agentes mutagénicos de naturaleza física y química. Entre los agentes mutagénicos más empleados destaca la radiación gamma proveniente mayormente de una fuente de Co<sup>60</sup> que es un isótopo radiactivo con alta capacidad ionizante que ha sido utilizado en mejoramiento genético de diferentes cultivos para inducir

mutaciones (Krishna, Shivashankar y Nath, 1984; Ángeles-Espino *et al.*, 2013; Corrales, 2017). Ángeles-Espino *et al.* (2013) manifiestan que, en la inducción de mutantes, los individuos mutantes presentan cambios negativos en una frecuencia creciente conforme aumenta la dosis de radiación, por lo que es importante conocer la dosis letal media (DL<sub>50</sub>).

Para el caso específico del pasto janeiro no se informa el uso de la técnica de mutaciones en su mejoramiento genético. Por lo expuesto, el objetivo fue determinar la dosis media letal (DL<sub>50</sub>) para inducir mutaciones, con radiación gamma, en pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, relacionada con la colección y siembra del material pratense, se realizó en la Granja Experimental San Pablo de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el km. 7,5 de la vía Babahoyo-Montalvo. Las coordenadas geográficas en UTM fueron X: 1,7723946; Y: 79,7102593. La zona presenta un clima tropical húmedo, con una temperatura que oscila entre los 24 y 26 °C, con humedad relativa de 88%, precipitación promedio anual de 1 262 mm, a una altitud de 8 msnm y 990 horas de heliofanía de promedio anual.

### Material vegetal seleccionado

Para la presente investigación fueron utilizados 8 600 estolones de pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth) colectados dentro de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UTB. Estos fueron seleccionados de plantas maduras con presencia de inflorescencia y cortados en promedio a ocho centímetros de largo con un nudo, desde donde emiten su raíz.

### Metodología

Para obtener el material vegetal (estolones), fueron utilizadas plantas en buen estado de pasto janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth), las cuales fueron cortadas con tijeras de jardinería y lavadas con agua destilada estéril (tres enjuagues). Luego fueron sumergidas en una solución compuesta de azoxistrobina + difeconazole (fungicida) por 15 minutos; los estolones se empaquetaron en número de 430, en bolsas plásticas con orificios y se identificaron con cinta adhesiva luego de su respectivo sorteo de aleatorización y se transportaron en una nevera con hielo para realizar la irradiación (Ortega, 2010).

La irradiación con rayos gamma de los estolones de pasto janeiro con un nudo, se realizó en el irradiador con isótopos Co<sub>60</sub> de 11 500 Curies, Modelo 109-68, perteneciente a la Dirección Nacional de Investigación y Aplicaciones Nucleares del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, localizado en Aloag, Pichincha-Ecuador. Se utilizaron cuatro dosis de radiación: 25, 50, 75, 100 Gray (Gy). El testigo (0 Gy) tuvo el mismo manejo que los irradiados. La duración de la fase 1 fue de 28 horas, considerando dentro de ella el periodo de transporte hacia y desde el local de irradiación al lugar experimental.

Posteriormente se preparó la platabanda, para lo cual se utilizaron los siguientes materiales: 50 kg de cascara de arroz, 50 kg de viruta de madera, 50 kg de arena y 150 kg de tierra suelta y fresca, los que fueron mezclados hasta conseguir una mezcla homogénea (Acosta-Durán, Gallardo, Kämpf y Bezerra, 2008).

Se sembraron 430 estolones por cada unidad experimental (UE) incluyendo el testigo en una platabanda, la cual fue regada hasta obtener humedad óptima de campo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial (AXB) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones.

### **Variables evaluadas**

Se evaluó el porcentaje de prendimiento de estolones hasta los 30 días por cada UE con frecuencia de 7 a 8 días, se registró el porcentaje de mortalidad (considerando como mortalidad a los estolones que no prendieron), por último, se calculó la longitud de planta desde el piso hasta la base de la hoja superior en la frecuencia de evaluación mencionada.

### **Procesamiento estadístico**

Los datos correspondientes al prendimiento, mortalidad y longitud de la planta, fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el paquete estadístico InfoStat y para determinar la significancia estadística entre las medias de los tratamientos, se aplicó la prueba de LSD Fisher al 0,05 % de significancia. Para analizar la relación entre la dosis de irradiación y las variables prendimiento, mortalidad y longitud de planta se utilizó análisis de regresión con el modelo lineal probit, utilizando el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI. II. La DL50 se determinó entre las dosis establecidas de 0 Gy a 100 Gy.

## **RESULTADOS**

Los análisis de varianza indicaron que las dosis de radiación determinaron diferencias significativas ( $P \leq 0,01$ ) en prendimiento, mortalidad y longitud de planta.

Al analizar el efecto de la dosis de radiación absorbida (radio sensibilidad) en el prendimiento (Tabla 1) se encontró que esta variable difiere significativamente ( $P < 0,05$ ) entre los estolones irradiados a 50 Gy; 75 Gy y 100 Gy con el testigo (0 Gy); no difiriendo significativamente ( $P < 0,01$ ) entre los estolones irradiados con 25 Gy. Según estos resultados, se puede apreciar que el prendimiento de número de estolones, disminuye con el incremento de la dosis.

Respecto a la mortalidad existieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $P < 0,01$ ); los tratamientos 0 Gy; 25 Gy fueron los que presentaron menor mortalidad con un promedio de 0,15 y 0,12 respectivamente. La mayor mortalidad se dio para los tratamientos con 75 Gy y 100 Gy con un promedio de 0,94 y 0,97 en su orden. Con lo cual se infiere que la mortalidad aumenta con el incremento de la dosis de irradiación.

Para la longitud de planta se muestra que hubo diferencia significativa entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ). Al analizar los resultados de la comparación múltiple del efecto de la dosis de radiación absorbida (radio sensibilidad) se encontró que difieren significativamente ( $P < 0,05$ ) los tratamientos con dosis de 25 Gy y 50 Gy; mientras que ninguno de los dos difiere de la dosis 0 Gy. Se aprecia también, que no hubo diferencia estadística entre las dosis 75 Gy y 100 Gy. Se puede apreciar que la longitud de la planta se ve afectada negativamente en función del incremento del nivel de irradiación.

**Tabla 1. Promedio de prendimiento, mortalidad y longitud de plantas.**

Indicador	Dosis Gy				
	0	25	50	75	100
Prendimiento	0,85 <sup>a</sup>	0,88 <sup>a</sup>	0,65 <sup>b</sup>	0,06 <sup>c</sup>	0,03 <sup>c</sup>
Longitud de la planta (cm)	16,00 <sup>ab</sup>	17,85 <sup>a</sup>	14,19 <sup>b</sup>	7,84 <sup>c</sup>	7,27 <sup>c</sup>
Mortalidad	0,15 <sup>c</sup>	0,12 <sup>c</sup>	0,35 <sup>b</sup>	0,94 <sup>a</sup>	0,97 <sup>a</sup>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis del efecto en el tiempo de evaluación de cuatro fechas después de la irradiación con rayos gamma en estolones del pasto Janeiro. En el prendimiento se puede apreciar que existe diferencia significativa ( $P < 0,05$ ) entre los tiempos de evaluación, a los 16 y 22 días se observó el mayor porcentaje de prendimiento mientras que a los 8 y 30 días el porcentaje de prendimiento varió de 0,45 a 0,42 respectivamente.

Con respecto a la mortalidad existieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los días evaluados con un mayor índice de mortalidad a los 8 y 30 días con 0,55 y 0,58 por su orden.

Se observaron diferencias altamente significativas ( $P < 0,05$ ) en la longitud de la planta entre las fechas evaluadas por lo que se infiere que la longitud de la planta, después de la irradiación con rayos gamma en estolones, aumenta a medida que pasa el tiempo.

**Tabla 2. Días de evaluación sobre promedio de prendimiento, longitud de planta y mortalidad.**

Indicador	Días después de la siembra			
	8	16	22	30
Prendimiento	0,45 <sup>b</sup>	0,55 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,42 <sup>b</sup>
Longitud de la planta (cm)	5,1 <sup>a</sup>	9,63 <sup>b</sup>	15,4 <sup>bc</sup>	20,3 <sup>c</sup>
Mortalidad	0,55 <sup>a</sup>	0,45 <sup>b</sup>	0,44 <sup>b</sup>	0,58 <sup>a</sup>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ );

La  $DL_{50}$  se determinó entre las dosis establecidas de 0 a 100 Gy (Tabla 3). En este análisis se obtuvo una correlación negativa y altamente significativa entre las dosis de rayos gamma y las variables evaluadas. Lo que indica que el modelo resultó eficiente para determinar la  $DL_{50}$ . Sin embargo, la variable prendimiento con el análisis probit fue el que mejor se ajustó (mayor  $R^2$ ) con un promedio de 52,60 Gy.

**Tabla 3. Correlación, regresión probit para porcentaje de prendimiento, altura de planta y mortalidad de estolones vs. Dosis de irradiación.**

	Establecimiento (%)	Longitud de la planta (cm)	Mortalidad (%)
Correlación "r"	- 0, 86**	- 0, 85**	- 0, 73**
Valor critico	P = 0,000	P = 0,000	P = 0,000
R <sup>2</sup>	57, 73	28, 90	55, 75
DL50 Gy	52, 60 Gy	82, 33 Gy	48, 89 Gy
** Diferencias altamente significativas a P ≤ 0,05			

## DISCUSIÓN

Los caracteres generalmente evaluados en especies vegetales son el porcentaje de germinación, la altura de planta, la longitud del sistema radicular y la esterilidad entre otros caracteres (Gómez-Pando y Eguiluz-De La Barra, 2013).

En la presente investigación se determinó que la menor mortalidad, se dio en tratamientos con bajas dosis de radicación (0; 25 y 50 Gy). Con lo cual se infirió que la mortalidad aumenta con el incremento de la dosis de irradiación. Estos resultados concuerdan con lo expresado por Songsri *et al.* (2011); Thole *et al.* (2012); Olasupo, Ilori, Forster y Bado (2016) y Corrales (2017); quienes expresan que, al exponer un organismo a radiación ionizante con dosis bajas, los impactos sobre la estructura celular o del ADN son mínimos, mientras que, con altas dosis, el genoma sufre múltiples impactos y puede ser causal de muerte. Por esta razón, el primer paso para inducir mutagénesis efectiva con radiaciones ionizantes, es determinar la dosis óptima de radiación a través de curvas de radiosensibilidad. Fuchs *et al.* (2002) y Corrales (2017) señalaron que en esta proporción existe mayor frecuencia de mutaciones útiles para programas de mejoramiento genético.

De acuerdo con los resultados, las dosis de radiación que debe aplicarse a estolones de pasto janeiro propagados directamente en el campo para inducir variabilidad, se ubican entre 42 y 50 Gy. Estos datos concuerdan con lo expresado por Fuchs *et al.* (2002), quienes mencionan que dosis entre 40 y 50 Gy incrementa la probabilidad de inducir mutaciones favorables para fines de selección y mejoramiento genético en pastos.

En la presente investigación se determinó una DL<sub>50</sub> con un promedio de 52,60 Gy. Para llegar a este resultado, se realizó el análisis probit en la variable establecimiento, que fue la que mejor se ajustó (mayor R<sup>2</sup>). Estos datos concuerdan con Valarezo (2015) quien determinó en un estudio de irradiación gamma para meristemos apicales de banano (*Musa spp*) en el cultivar "Williams" un DL<sub>50</sub> en el rango de 55 a 60 Gy. Resultados similares reporta Reyes-Borja (2007) que al exponer variedades de banano (*Musa spp*) a radiación gamma con Co<sup>60</sup> encontró la DL<sub>50</sub> con 77.9 Gy para Cavendish enano, 83.9 Gy para Williams, 65 Gy para Orito y 77,7 Gy para FHIA-01. Por otro lado, el IAEA reporta DL50 para el pasto Tifway II con 90 Gy y para Tifgreen II con 70 Gy. Por otro lado, Gonzales (2007), aplicaron dosis de 10 a 50 Gy a brotes apicales de henequén

micropropagados, y reportaron una dosis letal media de 30 Gy para la producción de nuevos brotes axilares y de 20 Gy para la disminución en el peso fresco de callo.

En especies propagadas por semillas las dosis de rayos gamma que originan la  $DL_{50}$  son diferentes (Gómez-Pando y Eguiluz-De La Barra, 2013), en semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) obtuvo los mejores resultados con dosis  $DL_{50}$  con 150 Gy. Lo que difiere del presente estudio ya que se ubica la  $DL_{50}$  en un rango entre 42 y 50 Gy.

En cuanto a la longitud de la planta, se determinó que varía en función del nivel de radiación, existiendo diferencias numéricas significativas con el incremento de la dosis. Este resultado concuerda con lo expresado con Ángeles-Espino (2013) que determino en un estudio con irradiación in vitro de *Agave tequilana* var. Azul las dosis de radiación absorbidas tuvieron efecto directo en el desarrollo de las plántulas y en el desarrollo de callo, pues ambas variables presentaron altos índices de reducción con dosis superiores a 30 Gy. La  $DL_{50}$  se ubicó entre 20 y 25 Gy para la inducción de brotes adventicios y altura de plántula, y de 15 a 25 Gy para callo. Por tanto, las dosis de radiación para inducir variabilidad en plántulas de agave propagadas in vitro deben ubicarse de 15 a 25 Gy para favorecer la aparición de mutaciones favorables.

Resultados similares fueron obtenidos por Valdez *et al.* (2004), quienes indican que el crecimiento del callo en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es afectado por el incremento de la dosis de radiación, ya que el mayor crecimiento de callos se presentó con una dosis de 10 Gy, aunque fue significativamente menor que el de los callos no irradiados, y el crecimiento se redujo más a medida que aumentó la dosis de radiación hasta los 30 Gy. Al igual que en el presente estudio, la tendencia del establecimiento se redujo a medida que aumentó la dosis de radiación hasta 75 Gy, y con la dosis de 100 Gy el prendimiento fue de menos del 8 %.

La longitud de planta en diferentes fechas de evaluación (8 a 30 días); presentó diferencias significativas, por lo cual se infiere que la misma aumenta a medida que pasa el tiempo. Esto concuerda a lo expresado por Otahola-Gomez y Aray (2001) quienes indican que al irradiar explantes de crisantemo (*Dendrathera grandiflorum* Ramat) con dosis de 5 a 20 Gy, y al evaluar su crecimiento a los 7, 14, 21 y 28 d posteriores a la irradiación encontraron que a los 7 d no hubo diferencias significativas en el crecimiento entre las dosis de 5 a 15 Gy con respecto al testigo; en las fechas posteriores el mayor crecimiento se obtuvo con 5 Gy, mientras que con la dosis de 20 Gy el crecimiento se redujo en todas las fechas evaluadas. Estos resultados concuerdan con los de Ángeles-Espino (2013) en el que con dosis mayores a 20 Gy el crecimiento disminuye de 43 % a 71 %, mientras que con 10 Gy no difiere del tratamiento sin irradiar.

Al determinar la dosis óptima de radiación gamma en semilla de pasto rosado, Corrales (2017) sugirió 304 Gy de radiación gamma como dosis óptima para inducir mutaciones efectivas en

pasto rosado, lo que difiere con las DL<sub>50</sub> de la mayoría de los trabajos revisados de material vegetativo.

## CONCLUSIONES

Las dosis de radiación absorbidas tuvieron efecto directo en el establecimiento de los estolones y en la altura de las plantas, pues ambas variables presentaron altos índices de reducción con dosis superiores a 75 Gy. La DL<sub>50</sub> se ubicó entre 42 y 52 Gy.

## REFERENCIAS

- Acosta-Durán, C. M., Gallardo, C. S., Kämpf, A. N., & Bezerra, F. C. (2008). Materiales regionales utilizados en Latinoamérica para la preparación de sustratos. *Investigación Agropecuaria*, 5(2), 93-106. [https://www.academia.edu/3244556/MATERIALES\\_REGIONALES\\_UTILIZADOS\\_EN\\_LATINOAM%C3%89RICA\\_PARA\\_LA\\_PREPARACI%C3%93N\\_DE\\_SUSTRATOS](https://www.academia.edu/3244556/MATERIALES_REGIONALES_UTILIZADOS_EN_LATINOAM%C3%89RICA_PARA_LA_PREPARACI%C3%93N_DE_SUSTRATOS)
- Ángeles-Espino, A., Valencia-Botín, A. J., Virgen-Calleros, G., Ramírez-Serrano, C., & Paredes-Gutiérrez, L. (2013). Determinación de la dosis letal (DL50) con Co60 en vitroplántulas de Agave tequilana var. Azul. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(4), 381-386. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802013000400003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000400003)
- Avendaño-Arrazate, C. H., Cadena-Iñiguez, J., Arévalo-Galarza, M. L., Cisneros-Solano, V. M., Aguirre-Medina, J. F., Moreno-Pérez, E. D. C., ... & Ramírez-Vallejo, P. (2012). Variación genética en el complejo infraespecífico de chayote evaluada mediante sistemas isoenzimáticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(2), 244-252. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200013>
- Bishop, J., Betancourt, R., Carrión, F., Reyes, F., Zambrano, J., Ronquillo Solórzano, S., ... & Berrezueta, L. (1989). Manual de pastos tropicales. Quito, Ecuador: Programa de Pastos y Ganadería. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=4639553725260272755&hl=e-s&assdt=0,5>
- Corrales Lerma, Raúl. (2017) Mutagénesis con radiación gamma para mejoramiento genético de pasto rosado (*melinis repens* (willd) zizka). Mexico: Doctorado tesis, Universidad Autónoma de Chihuahua. <http://repositorio.uach.mx/162/>
- Enríquez, Q.J.F.A. Hernández, G., Quero, C.Y.D., & Martínez, M. (2015) Producción y Manejo de Gramíneas Tropicales para Pastoreo en Zonas Inundables. Folleto Técnico, Mexico: INIFAP -Colegio de Postgraduados, 60 p. <https://docplayer.es/66580748-Produccion-y-manejo-de-gramineas-tropicales-para-pastoreo-en-zonas-inundables.html>



- 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. *Agron. Trop*, 52(3), 311-323. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2002000300004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300004)
- Gómez-Pando, L. R., & Eguiluz-de la Barra, A. (2013). Developing genetic variability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with gamma radiation for use in breeding programs. *American Journal of Plant Sciences* 4(02):349-355. DOI: [10.4236/ajps.2013.42046](https://doi.org/10.4236/ajps.2013.42046)
- Gonzales, G. (2007). Radiosensitivity to gamma rays (60Co) in shoot tips of henequen. *Biotecnología Vegetal*, 7(2), 115-117. <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiavegetal/2007/vol7/no2/7.pdf>
- Krishna, G., Shivashankar, G., & Nath, J. (1984). Mutagenic response of rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth.) to gamma rays. *Environmental and experimental botany*, 24(2), 197-205. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00021152>
- Nobel, P. S. (1999). *Physicochemical & environmental plant physiology*. Academic press. <https://www.amazon.es/Physicochemical-Environmental-Plant-Physiology-Nobel/dp/0-123741432>
- Olasupo, F. O., Ilori, C. O., Forster, B. P., & Bado, S. (2016). Mutagenic effects of gamma radiation on eight accessions of Cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *American Journal of Plant Sciences*, 7(2), 339-351. DOI: [10.4236/ajps.2016.72034](https://doi.org/10.4236/ajps.2016.72034)
- Ortega Perez, N.V. (2010) « Obtención de Multimeristemas y Callos de diferentes variedades de Banano y Plátano (*Musa* spp.) a partir de ‘Meristemas Apicales’y‘Scalps’». <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10918>
- Otahola-Gomez, V., & Aray, M. (2001). Inducción de mutantes para el color de la flor en crisantemos (*Dendranthema grandiflora* (Ram.) Tzvelev) mediante radiaciones gamma. *Revista UDO Agrícola*, 1(1), 56-63. <https://tspace.library.u-toronto.ca/bitstream/1807/5215/1/cg01009.pdf>
- Reyes-Borja, W. O. (2007). *Gamma rays and carbon ion-beams irradiation for mutation induction to breed banana (*Musa* spp.), especially on response to black Sigatoka disease* (Doctoral dissertation, 筑波大学). [https://www.researchgate.net/publication/50983844\\_-\\_Gamma\\_rays\\_and\\_carbon\\_ionbeams\\_irradiation\\_for\\_mutation\\_induction\\_to\\_breed\\_banana\\_Musa\\_spp\\_especially\\_on\\_response\\_to\\_Black\\_Sigatoka\\_Disease](https://www.researchgate.net/publication/50983844_-_Gamma_rays_and_carbon_ionbeams_irradiation_for_mutation_induction_to_breed_banana_Musa_spp_especially_on_response_to_Black_Sigatoka_Disease)
- Rosenberg, S. M., Shee, C., Frisch, R. L., & Hastings, P. J. (2012). Stress-induced mutation via DNA breaks in *Escherichia coli*: a molecular mechanism with implications for evolution

and medicine. *Bioessays*, 34(10), 885-892.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22911060>

Songsri, P., Suriharn, B., Sanitchon, J., Srisawangwong, S., & Kesmala, T. (2011). Effects of gamma radiation on germination and growth characteristics of physic nut (*Jatropha curcas* L.). *Journal of Biological Sciences*, 11(3), 268-274.  
<https://scialert.net/abstract/?doi=jbs.2011.268.274>

Thole, V., Peraldi, A., Worland, B., Nicholson, P., Doonan, J. H., & Vain, P. (2012). T-DNA mutagenesis in *Brachypodium distachyon*. *Journal of experimental botany*, 63(2), 567-576. <https://doi.org/10.1093/jxb/err333>

Valarezo Pacheco, A. V. (2015). *Detección temprana de mutantes de banano tolerantes o resistentes a Sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis, Morelet) en condiciones de vivero* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB. 2015). <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/1073>

Valdez, A., Pedro, A., Pérez, O., Veitía, N., & Torres, D. (2004). Crecimiento, regeneración y radiosensibilidad de callos de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido var. "SP 70-1284") tratados con radiación gamma fuente <sup>60</sup>Co. *Biotecnología Vegetal*, 4, 165-169.  
<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/419>

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: JCGV, LAT, LGP WRB; análisis e interpretación de los datos: JCGV, LAT, WRB, JRA; redacción del artículo: JCGV, LAT, LGP, WRB, JRA, LAV.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.