



Efectos de agentes mutagénicos en la germinación de semillas de aguaymanto

Effect of mutagenic agents on the germination of aguaymanto seeds

 Rolando Porta Chupurgo¹; Jorge E. Jiménez^{2,*}
¹ Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Huancavelica, Acobamba, Perú.

² Laboratorio de Biotecnología, Programa de Cereales y Granos Nativos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Received December 26, 2017. Accepted April 30, 2018.

Resumen

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), importante por su valor económico y nutritivo, requiere de estudios que apunten a reducir el tamaño de planta, el periodo vegetativo, entre otros. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de dos agentes mutagénicos en la germinación de las semillas de aguaymanto. Se instalaron dos experimentos independientes, los que fueron conducidos tanto en laboratorio como en el vivero. En el primer experimento se aplicó a las semillas la radiación gamma con dosis de 0 Gy, 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, 300 Gy, 350 Gy y 400 Gy. En el segundo experimento, las semillas fueron remojadas en azida de sodio a dosis de 0,0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 y 3,5 mM.; y además, se incluyó una solución Buffer pH3. Ambos experimentos fueron conducidos en el diseño completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de DUNCAN. Se evaluaron % de germinación radicular, % de germinación cotiledonal, longitud de raíz (mm), % de emergencia y altura de plantas (mm). Los resultados obtenidos sugieren que la dosis de 300 Gy y 2,5 mM produjeron un efecto promedio entre 22,83% y 22,11% comparado con el control, son las recomendables para provocar cambios genéticos deseados.

Palabras clave: *Physalis peruviana* L.; agentes mutagénicos; dosis de radiación.

Abstract

The aguaymanto (*Physalis peruviana* L.), important for its economic and nutritional value, requires studies aimed at reducing the size of the plant, the vegetative period, among others. The objective of the research was to determine the effect of two mutagenic agents on the germination of aguaymanto seeds. Two independent experiments were installed and conducted both in the laboratory and in the nursery. In the first experiment, the gamma radiation was applying to the seeds with doses of 0 Gy, 100 Gy, 150 Gy, 200 Gy, 250 Gy, 300 Gy, 350 Gy and 400 Gy. In the second experiment, the seeds were soaked in sodium azide at a dose of 0.0; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0 and 3.5 mM. and in addition, a buffer pH3 solution was included. Both experiments were conducted in the completely randomized design with four repetitions per treatment. For the comparison of means, the DUNCAN test was used. We evaluated root germination percentage, cotyledonal germination percentage, root length (mm), emergence percentage and plant height (mm). The results obtained suggest that the dose of 300 Gy and 2.5 mM produced an average effect between 22.83% and 22.11% compared to the control, are recommended to cause desired genetic changes.

Keywords: *Physalis peruviana* L.; mutagenic agents; radiation dose.

1. Introducción

Physalis peruviana L. es una especie de importancia por el contenido de minerales y vitaminas presentes en el fruto, elementos indispensables para el desarrollo humano. El aguaymanto es una excelente fuente de provitamina A, vitamina C y también del complejo de vitamina B (tiamina, niacina y vitamina B12). Es un

alimento energético natural, estupendo para niños, deportistas y estudiantes; sin embargo, no existe en el mercado variedades que se desarrollen en las condiciones ambientales que puedan suplir la demanda nacional. El aguaymanto es muy susceptible a las plagas las mismas que hacen daño a las hortalizas y a la sequía los que constituyen limitantes de la producción. Es indispensable el desarrollo

* Corresponding author
E-mail: jjimenezd@lamolina.edu.pe (J.E. Jiménez).

de nuevas variedades a través del mejoramiento genético de plantas con adecuada arquitectura de planta, precoces, alto rendimiento y calidad de fruto. Las hibridaciones entre especies muy relacionadas están limitadas en su capacidad para crear nuevas y diversas variedades de cultivos (Matijevic *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015), la alternativa es la inducción de mutaciones que provoca cambios que, de manera natural, tardarían demasiado tiempo en aparecer o que, por efectos directamente vinculados al azar, no aparecerían (Salas, 2015; Dayton, 2012). A diferencia de la hibridación y la selección, la mejora de la mutación tiene la ventaja de mejorar un defecto en un cultivar elite, sin perder sus características agronómicas y de calidad (Pathirana, 2011; Monica y Seetharaman, 2016). Se puede cambiar una o pocas características específicas de una variedad en el menor tiempo posible (Datta, 2014), como por ejemplo la resistencia al estrés abiótico, los parámetros físicos del grano, valor nutricional (Ling *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015), alterar el tamaño de la planta, la época de floración y cosecha, el color de la fruta, la resistencia a plagas y enfermedades entre otros, sin perturbar ninguno de las bondades pre existentes en las variedades (Álvarez *et al.*, 2012; Devi y Mullainathan, 2012; Tshilenge-Lukanda *et al.*, 2013; Aruldoss *et al.*, 2015).

Las mutaciones en cultivos agrícolas son inducidas por mutágenos químicos o físicos (Kayalvizhi *et al.*, 2017; Gnanamurthy *et al.*, 2012) Mutágenos químicos tales como etilmetanosulfonato (EMS), azida de sodio (NaN₃), N-nitroso-N-metilurea (NMU) y colchicina han sido utilizados para desarrollar nuevos rasgos en los cultivos. (Kozgar *et al.*, 2011; Jagajanantham *et al.*, 2013; Kashind y More, 2016). La azida sódica, un mutágeno químico se ha convertido en una herramienta importante para mejorar rasgos agronómicos de las plantas de cultivo. Se está utilizando para producir resistencia en varios cultivos susceptibles para mejorar su rendimiento y rasgos de calidad contra patógenos dañinos (Salas, 2015).

Los mutágenos físicos pueden dividirse en dos categorías, en radiaciones no ionizantes e ionizantes (Madigan *et al.*, 2009). Las radiaciones ionizantes más utilizadas en la inducción de cambios de caracteres de los cultivos, incluyen rayos X, rayos gamma γ , rayos β , neutrones y haces de iones de alta energía (Suprasanna *et al.*, 2015; Akshatha *et al.*, 2013), debido a sus características y alto poder de penetración, que pueden provocar cambios

en moléculas, como el ácido desoxirribonucleico (ADN) (Minisi *et al.*, 2013). Dentro de las radiaciones ionizantes, los rayos gamma son las más utilizadas para generar variabilidad en los cultivos agrícolas (Piri *et al.*, 2011). En este campo, los rayos gamma son considerados un tipo de radiación ionizante usualmente obtenidos por radioisótopos, como el cobalto 60 (Co-60) y el cesio 137 (Ce-137). Entonces, la utilidad de cualquier agente mutagénico depende de su capacidad para inducir una alta frecuencia de cambios deseables en comparación con los indeseables. Por lo tanto, a menudo es necesario evaluar la eficacia y efectividad de los mutágenos para un uso eficiente y efectivo (Usharani y Kumar, 2015). Sin embargo, no basta seleccionar el tipo de radiación a usar; deben tomarse en cuenta otros factores como radiosensibilidad, intervalo de dosis y forma de aplicación, para lograr los objetivos planteados (Udensi *et al.*, 2012). Para determinar el intervalo de dosis que permita inducir los cambios deseados, debe de tomarse en cuenta que cada organismo presenta una particular sensibilidad a la radiación (radiosensibilidad). La dificultad está en que a medida que aumenta la dosis de radiación, se incrementa el deterioro de la planta y disminuye la frecuencia de mutaciones económicamente útiles (Salas, 2015). Caro-Melgarejo *et al.* (2012) aplicaron dosis de 50, 100, 200 y 300 Gy de rayos gamma en yemas vegetativas de *P. peruviana* L., y obtuvieron mayor porcentaje de viabilidad, enraizamiento de microtallos, cantidad de hojas por explante, longitud de tallos, porcentaje de endurecimiento y de cromosomas rezagados en la célula con la dosis de 100 y 200 Gy. También, Antúnez *et al.* (2017) al estudiar el efecto de los rayos gamma 60Co sobre características de germinación de la semilla y vigor de plantas de *P. peruviana*, reportaron que la radiación no afectó el porcentaje de germinación, ni el número de hojas, pero las plántulas de semillas irradiadas emergieron 8 d antes que el testigo. Las plantas de semillas irradiadas con 125, 150, 200 y 225 Gy presentaron la mayor altura y diámetro de tallo. Las mayores longitudes de la raíz observaron en las plantas testigo. La mayor longitud de entrenudo se tuvo con 125, 150, 175 y 200 Gy.

En esta perspectiva, el objetivo fue evaluar el efecto de la radiación gamma y de la azida de sodio, como agentes mutagénicos, en la germinación de las semillas de aguaymanto.

2. Materiales y métodos

La investigación fue conducida desde el 06 de agosto hasta el 30 de octubre del 2015, en el laboratorio de biotecnología del Programa de Investigación y Proyección Social (PIPS) en Cereales y Granos Nativos de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), utilizándose semilla botánica de aguaymanto, de la variedad comercial “Colombiano” proveniente de AZ Ingenieros EIRL. Esta variedad por haber sido desarrollada en condiciones de Colombia, en nuestro país no desarrolla adecuadamente en lugares de baja humedad, por lo que se busca tolerancia a estrés hídrico, precocidad y mejor estructura de planta. Se implementaron dos experimentos independientes. En el primer experimento, las semillas fueron sometidas a la radiación gamma con fuente de Cobalto (Co^{60}) con las dosis de: 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 Gy, en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). El irradiador utilizado fue el tipo I, marca Gammacell 220 Excel Modelo C-198, serie GS-401. En el segundo experimento, las semillas fueron sometidas a la azida de sodio con dosis de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 y 3,5 mM, siguiéndose el protocolo:

- Preparación de la solución buffer pH3. Se pesó KH_2PO_4 (0,4 M) y se disolvió en agua destilada. Luego se llevó a pH3 utilizando ácido ortofosfórico.

- Se preparó una alícuota de NaN_3 , en una solución 1:1 disolviendo la azida de sodio en la solución buffer pH3.
- Las semillas de todos los tratamientos se remojaron en cada una de las dosis de NaN_3 , durante 1 hora y luego se realizaron 3 enjuagues con agua corriente.
- Luego, se sembraron todas las semillas en placas y macetas de acuerdo a las dosis propuestas en el experimento.

En el experimento con azida de sodio se incluyó a la solución buffer como un control adicional.

Los experimentos fueron conducidos en el diseño completamente al azar, con 4 repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental estuvo conformada por 100

semillas. Para la comparación de medias, se utilizó la prueba de DUNCAN.

Los experimentos fueron realizados tanto en el laboratorio (en placas petri) como en el tinglado. En el laboratorio se evaluaron germinación radicular (%), germinación cotiledonal (%) y longitud de raíz (cm); y en el vivero (en macetas), el porcentaje de emergencia y altura de las plántulas. Los efectos de los rayos gamma y la azida de sodio (NaN_3) fueron calculados teniendo en cuenta el comportamiento del control en cada uno de los parámetros evaluados.

3. Resultados y discusión

Germinación

La primera expresión de crecimiento en la etapa de germinación corresponde a la aparición de la radícula. Así, en la [Tabla 1](#) se observa que no hubo diferencias significativas entre las diferentes dosis de radiación en el porcentaje de germinación radicular. A pesar de que las diferencias estadísticas no fueron significativas en la germinación radicular y teniendo en cuenta que los cambios que puedan ocasionar los mutagénicos son aleatorios, se aprecia el incremento de la germinación radicular en el rango de 0,75% a 2,00% comparado con el testigo en las dosis de 100 y 250 Gy respectivamente y la reducción de 2,50%, 3,25%, 6,00%, en las dosis superiores a 300 Gy. Al respecto, [Akshatha y Chandrashekar \(2014\)](#) mencionan que la radiación acelera la diferenciación de las células, afecta la síntesis de proteínas, el balance hormonal, el intercambio gaseoso y la actividad enzimática.

El hipocótilo, que corresponde a la parte subterránea del tallo principal, aparece entre uno a dos días después de la radícula y conduce a los cotiledones hacia arriba, hasta posicionarlos por sobre el ápice de la plántula (germinación cotiledonal).

En la [Tabla 1](#) se muestra que las semillas irradiadas con 200, 300 y 350 Gy, fueron afectadas al presentar menores porcentajes de germinación cotiledonal; mientras que el control sin irradiar y las dosis de 150 y 250 Gy lograron mayor porcentaje de germinación.

Tabla 1

Evaluación de la germinación de semillas M1 de aguaymanto irradiadas con rayos gamma

Dosis de rayos gamma (Gy)	0	100	150	200	250	300	350	400	C.V. (%)	
	dds ²									
Germinación radicular (%)	7	96a	96a	95a	95a	98a	90a	92a	93a	5,89
Germinación cotiledonal (%)	10	31ab ¹	25bc	32ab	21c	32a	23c	23c	25bc	9,72
Longitud de raíz (mm)	30	31a	29ab	27ab	27ab	25bc	25c	20c	17d	8,11

¹ Valores en una misma fila seguido por letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,01$).

² dds = días después de la siembra.

De estos resultados, se desprende que dosis iguales o mayores a 200 Gy, reducen el porcentaje de germinación cotiledonal, hasta en 8% comparado con el testigo. [Beyaz et al. \(2016\)](#) encontraron efectos significativos en la germinación de semillas de *Lathyrus chrysanthus*, y que las semillas irradiadas a dosis más altas tenían un mayor porcentaje de germinación de semillas. Resultados similares fueron reportados por [Salomón et al. \(2017\)](#) en semilla botánica de papa irradiadas de 10 a 100 Gy, quienes encontraron diferencias significativas entre las proporciones en las diferentes dosis de radiación gamma. Los resultados sugieren que existen dosis particulares e intermedias de radiación que estimulan la germinación de las semillas, lo que podría estar relacionado con la especie y el estado fisiológico de la semilla. Respecto a la longitud de raíces, se encontró efectos significativos ([Tabla 1](#)), registrándose una disminución de hasta 14 mm a la dosis de 400 Gy respecto al testigo sin irradiar. Las semillas expuestas a irradiaciones de 100, 150 y 200 Gy, desarrollaron plántulas con raíces de longitudes similares al testigo; sin embargo, se puede apreciar que radiaciones iguales o superiores a 250 Gy, reducen de manera significativa la longitud de las raíces.

En otras especies de plantas, cuyas semillas fueron irradiadas, los resultados obtenidos para longitud de raíces, han sido variables ([Caro et al., 2012](#); [Marcu et al., 2013](#); [Araujo et al., 2016](#)). Por ejemplo, semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) irradiadas con dosis bajas (5 y 20 Gy), respondieron favorablemente, al presentar longitudes de raíces superiores en un 37 % con relación al control ([Alvares et al., 2012](#)). [Nasab et al. \(2010\)](#), irradiando semillas de *Hordeum vulgare* spp. con dosis de 700 y 1200 Gy, no evidenciaron diferencias significativas para longitud de raíces con el control sin irradiar.

Al analizar el efecto de la azida de sodio ([Tabla 2](#)), se observó reducción significativa del porcentaje de germinación radicular conforme se incrementó la dosis; así, al comparar el testigo y el tratamiento con la dosis más alta de azida de sodio (3,5 mM.), se redujo en 73,0% la germinación radicular de las semillas de aguaymanto. Estos resultados coinciden con lo reportado por [Huari \(2014\)](#), quien encontró diferencias significativas en el porcentaje de germinación de semillas de amancay. Por otro lado, [Salas \(2015\)](#), reportó que el efecto letal que ocasiona el uso de azida de sodio en la germinación de las semillas

aumenta a medida que se incrementa su dosis en referencia al testigo.

Del mismo modo, el porcentaje de germinación cotiledonal se redujo a medida que se incrementó la dosis de azida de sodio, afectando a la formación de las hojas cotiledonales, hasta en 16,0% con la dosis de 3,5 mM. ([Tabla 2](#)). La longitud de la raíz también fue reducida hasta en 30% en las dosis más altas (3,0 y 3,5 mM). Las dosis bajas no afectaron la longitud de las raíces comparado con el testigo.

Al analizar el efecto de semillas tratadas con azida de sodio sobre el crecimiento de las raíces, se observa que hubo reducción significativa en la longitud de las raíces. Y conforme se incrementa la dosis de azida de sodio, se reduce el tamaño de las mismas. Así, al comparar el testigo con el tratamiento de 3,5 mM., se reduce en 28,57% ([Tabla 2](#)).

Estos resultados confirman que el incremento de las dosis de azida de sodio produce mayor letalidad; en tanto que dosis reducidas generan menos letalidad ([García et al., 2010](#)).

Emergencia y altura de planta

Los resultados obtenidos en el tinglado muestran que la irradiación aplicada influyó significativamente ($P < 0,01$) en la emergencia y la altura de planta. En la [Tabla 3](#), se aprecia que el incremento en la dosis redujo la emergencia y la altura de las plantas. Así, las semillas irradiadas con 400 Gy, fueron afectadas al reducirse el porcentaje de emergencia (14%) y la altura de planta (38%), con respecto al testigo.

Se puede observar que ambas variables fueron afectadas conforme aumentaron las dosis de irradiación. [Antúñez et al. \(2017\)](#) no evidenciaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en semillas de aguaymanto irradiadas con 16 dosis de rayos gamma; sin embargo, influyó de manera significativa sobre la altura de la planta ($p \leq 0,05$), reportando que las mayores alturas se presentaron con las dosis intermedias de 125 (13,57 cm), 150 (13,72 cm), 175 (13,35 cm) y 200 Gy (13,42 cm), superiores en 29 % con respecto al testigo; en tanto que con dosis altas (300 y 350 Gy) la altura fue menor a 6,27 cm.

Coinciden con estos resultados, los reportados por [Álvarez et al. \(2013\)](#) quienes notaron estimulación significativa ($P \leq 0,001$) en la altura de plantas de pimiento con relación al control con todas las dosis evaluadas, observándose los mejores valores con la dosis de 30 Gy que incrementó la altura de plantas en un 15%.

Tabla 2

Características de la germinación de semillas M1 de aguaymanto tratadas con azida de sodio

Dosis de azida de sodio (mM)	0	B	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	C.V. (%)	
	dds ²										
Germinación radicular (%)	7	87a ¹	65bc	69 b	54d	56cd	34e	29e	18f	14f	8,35
Germinación cotiledonal (%)	10	18a	17a	10bc	12b	8c	4d	5d	4de	2e	11,02
Longitud de raíz (mm)	30	28a	28a	27a	27a	26ab	24bc	23cd	20de	20e	4,3

B = Buffer pH3.

Del mismo modo [Álvarez et al. \(2012\)](#) encontraron respuesta estimulante significativa ($p < 0,05$) sobre el crecimiento en plántulas de tomate provenientes de semilla irradiada.

Resultados contrarios fueron observados por [López et al. \(2012\)](#) en semillas de “Chile de Agua” *Capsicum annum* L. irradiadas a dosis de 0 a 120 Gy, quienes no encontraron efectos radioestimulantes favorables en la germinación.

Las diferencias en los porcentajes de emergencia entre los tratamientos, se deben a la inhibición o estímulo de los procesos bioquímicos y fisiológicos de la radiación ionizante, lo cual depende de la dosis, ([Figura 1](#)), resultados que es confirmado por [Hasbullah \(2012\)](#).



Figura 1. Respuesta de las plántulas de aguaymanto luego de que las semillas fueran sometidas a radiaciones Gamma. Las plántulas de la izquierda corresponden al control y de la derecha a las plántulas cuyas semillas fueron tratadas con 400 Gy.

Con respecto a la azida de sodio, para emergencia no se observó diferencias significativas entre los diferentes

tratamientos ([Tabla 4](#)); sin embargo, se puede apreciar una ligera disminución en el porcentaje de emergencia a medida que se incrementan las concentraciones del mutagénico. Similares resultados fueron reportados por [Salas \(2015\)](#) con la dosis de 3,0 mM. de NaN_3 tratando a las semillas de salvia; y por [Vargas \(2016\)](#), a las semillas de tres variedades de café.

En el caso de la altura de planta, los tratamientos con azida de sodio afectaron esta variable disminuyéndola hasta en 33% con respecto al testigo. La reducción mayor se produjo en las plántulas que se desarrollaron a partir de las semillas tratadas con 3,5 mM de azida de sodio, lo que concuerda con lo reportado por [Salas \(2015\)](#) y [Vargas \(2016\)](#) en semillas de Salvia y Café respectivamente.

Efecto promedio de los agentes mutagénicos

La [Tabla 5](#) muestra los efectos de estimulación e inhibición en los parámetros medidos de los tratamientos con irradiación comparados con el testigo. El efecto promedio de modificación de las variables evaluadas comprende desde 4,65% a (100 Gy), hasta 29,68% (400 Gy).

La dosis de 100 Gy de radiación produjo inhibición en la germinación cotiledonal, longitud de raíz, emergencia y altura de plantas en 6,75%, 7,53%, 2,25% y 7,45% respectivamente. Sin embargo, produjo una estimulación en 0,75% en la germinación radicular. El rango de 300 a 400 Gy produjo efecto negativo en todas las variables evaluadas.

Tabla 3

Evaluación de las plántulas M1 de aguaymanto provenientes de semillas irradiadas

Dosis de rayos gamma (Gy)	0	100	150	200	250	300	350	400	C.V. (%)	
	dds									
Emergencia de plantas (%)	12	99 a	97ab	96ab	93ab	93abc	88bc	89cd	85d	2,85
Altura de planta (mm)	30	50 a	46ab	48ab	44bc	40c	30d	27d	19e	5,46

¹ Valores en una misma fila seguido por letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0,01$).

² dds = días después de la siembra.

Tabla 4

Resultados de la prueba en macetas (tinglado) provenientes de semillas tratadas con azida de sodio

Dosis de NaN_3 (mM)	0	B	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	C.V. (%)	
	dds										
Emergencia de plantas (%)	12	99a	99a	98a	97a	97a	96a	96a	94a	94a	2,83
Altura de planta (mm)	30	72a	70ab	65bc	73a	64bc	59cd	60cd	61cd	56d	4,15

¹ = Valores en una misma fila seguido por letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,01$)

² dds = días después de la siembra; B = Buffer pH3.

Tabla 5

Efecto promedio de la radiación gamma en la estimulación o inhibición de caracteres morfológicos de plántulas de aguaymanto

Dosis (Gy)	GR (%)	GC (%)	LR (mm)	E (%)	AP (mm)	Promedio (%)
100	0,75 ¹	6,75 ²	7,53 ²	2,25 ²	7,45 ²	4,65
150	0,50 ²	0,25 ¹	12,78 ²	3,00 ²	52,21 ²	13,65
200	0,75 ²	10,75 ²	14,24 ²	6,00 ²	56,31 ²	17,61
250	2,00 ¹	0,75 ¹	19,27 ²	5,50 ²	60,08 ²	16,42
300	6,00 ²	8,25 ²	19,51 ²	10,50 ²	69,88 ²	22,83
350	3,25 ²	8,75 ²	34,83 ²	10,00 ²	73,15 ²	26,00
400	2,50 ²	6,25 ²	44,25 ²	14,25 ²	81,16 ²	29,68

1 = Efecto de estimulación; 2 = Efecto de inhibición.

Tabla 6

Efecto promedio de la azida de sodio en la estimulación o inhibición de caracteres morfológicos de plántulas de aguaymanto

Dosis (mM)	GR (%)	GC (%)	LR (mm)	E (%)	AP (mm)	Promedio (%)
B	22,50 ²	1,00 ²	0,19 ²	0,25 ²	3,89 ²	5,57
0,5	18,50 ²	7,75 ²	3,51 ²	1,25 ²	9,61 ²	8,12
1,0	33,75 ²	5,75 ²	5,13 ²	2,50 ²	0,34 ¹	9,36
1,5	31,50 ²	9,75 ²	8,96 ²	2,00 ²	11,45 ²	12,73
2,0	53,00 ²	13,75 ²	14,74 ²	3,50 ²	17,93 ²	20,58
2,5	58,25 ²	13,50 ²	18,63 ²	2,75 ²	17,40 ²	22,11
3,0	69,75 ²	14,50 ²	27,36 ²	5,25 ²	15,63 ²	26,50
3,5	73,25 ²	16,25 ²	29,50 ²	5,00 ²	22,27 ²	29,25

1 = Efecto de estimulación; 2 = Efecto de inhibición; B = Buffer.

La **Tabla 6** muestra los efectos estimulación e inhibición en los parámetros medidos con azida de sodio comparados con el testigo. El menor efecto promedio se obtuvo con el Buffer (5,57%) y el mayor efecto (29,25%) se produjo con 3,5 mM de azida de sodio.

Al comparar los efectos promedios en la germinación radicular de las semillas se puede visualizar que las diferentes dosis de radiación gamma produjeron un menor rango de variación (de 6,00% de inhibición a 0,75% de estimulación), respecto a las dosis de azida (de 18,50% a 73,25% de inhibición). Esta misma tendencia se presentó en la germinación cotiledonal, donde la radiación gamma produjo un rango desde 10,75% de inhibición hasta 0,75% de estimulación; en tanto que la azida de sodio produjo inhibición de 1,00 a 16,25%. El crecimiento de la raíz fue inhibido tanto por las diferentes dosis de radiación gamma (de 7,53% a 44,25%), como por las diferentes dosis de azida de sodio (de 0,19% a 29,50%). El porcentaje de emergencia fue afectada de 2,25% a 14,25% y de 0,25% a 5,25% por efecto de las dosis de radiación gamma y azida de sodio respectivamente. La altura de plántula se redujo en un mayor rango de variación (de 7,45% a 81,16%) por efecto de la radiación gamma, respecto a la azida de sodio que redujo el crecimiento de las plántulas en un rango de 0,34% a 22,27%. En general, se puede inferir que conforme se incrementa la dosis de radiación gamma y azida de sodio en tratamiento a las semillas de aguaymanto, aumenta el porcentaje de inhibición en la germinación

radicular, germinación cotiledonal, longitud de raíz, emergencia y altura de planta respectivamente.

Al comparar el efecto promedio mayor causado por ambos agentes mutagénicos, la dosis de 400 Gy y 3,5 mM. de NaN_3 , tuvieron similares respuestas para los parámetros evaluados en *Physalis*. De acuerdo a [Maluszynski et al. \(1995\)](#), sugiere que debería recomendarse la dosis cuyo efecto promedio esté lo más cerca del 20%, en este caso se recomendaría las dosis de 300 Gy (22,83%) y 2,0 mM de NaN_3 (20,58%).

4. Conclusión

Se concluye que las diferentes dosis de radiaciones gamma redujeron la germinación cotiledonal, longitud de raíces, emergencia de plantas y altura de planta, más no la germinación radicular. En tanto que las diferentes dosis de azida de sodio redujeron la germinación radicular, germinación cotiledonal, longitud de raíces y altura de planta, mas no la emergencia. Se infiere que las dosis de 300 Gy y 2,0 mM, son los más recomendables para usar, por haber presentado efectos promedios de 22,83% y 20,58%, y encontrarse dentro del rango sugerido para promover mutaciones genéticas favorables.

Agradecimientos

Al personal del Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por el apoyo brindado.

Referencias Bibliográficas

- Akshatha, K.; Chandrashekar, R. 2014. Gamma sensitivity of forest plants of Western Ghats. *Journal of Environmental Radioactivity* 132: 100-107.
- Akshatha, K.; Chandrashekar, R.; Somashekarappa, H.; Souframanien, J. 2013. Effect of gamma irradiation on germination, growth, and biochemical parameters of *Terminalia arjuna* Roxb. *Radiation Protection and Environment* 36(1): 38-44.
- Álvarez, A.; Chávez, L.; Ramírez, R.; Pompa, R.; Estrada, W. 2012. Indicadores fisiológicos en plántulas de *Solanum lycopersicum* L., procedentes de semillas irradiadas con rayos X. *Biología Vegetal* 12(3): 173-177.
- Álvarez, A.; Chávez, L.; Ramírez, R.; Fernández, R.; Estrada, W.; Estrada, Y.; Maldonado, A. 2013. Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X en plantas de pimiento *Capsicum annum* L. *Nucleus* (53): 14-18.
- Antúnez, O.; Cruz, C.; Sandoval, M.; Santacruz, A.; Mendoza, L.; De la Cruz, E.; Peña, A. 2017. Variabilidad inducida en caracteres fisiológicos de *Physalis peruviana* L. mediante rayos gamma 60Co aplicados a la semilla. *Fitotecnia Mexicana* 40(2): 211-218.
- Araújo S.; Paparella, S.; Dondi, D.; Bentivoglio, A.; Carbonera, D.; Balestrazzi, A. 2016. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science* 7: 646.
- Aruldoss, T.; Mullainathan, L.; Natarajan, S. 2015. Effect of Induced mutagenesis on quantitative characteristics of Chilli *Capsicum annum* (L). var-K₁ in M₂ generation. *Indo-Asian Journal of Multidisciplinary Research* 1(3): 265-272.
- Beyaz, R.; Kahramanogullari, C.; Yildiz, C.; Selcen, E.; Yildiz, M. 2016. The effect of gamma radiation on seed germination and seedling growth of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. under *in vitro* conditions. *Journal of Environmental Radioactivity* 162: 129-133.
- Caro, D.; Estupiñán, S.; Rache, L.; Pacheco, J. 2012. Efecto de rayos gamma sobre yemas vegetativas de *Physalis peruviana* L. *Acta Agronómica* 61: 305-314.
- Datta, S. 2014. Induced mutagenesis: basic knowledge for technological success. In *National Botanical Research Institute. India*. Pp. 97-140.
- Dayton, H.; Yihua, Y.; Jiang, P.; Anjanabha, B. 2012. Targeted mutation breeding of horticultural plants. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 24(1): 31-41.
- Devi, S.; Mullainathan, L. 2012. Effect of Gamma Rays and Ethyl Methane Sulphonate (EMS) in M₃ generation of Blackgram *Vigna mungo* L. Hepper. *African Journal of Biotechnology* 11(15): 3548-3552.
- García, A.; Porras, I.; Jiménez, J. Evaluación del efecto de la azida de sodio en la germinación de la semilla de quinua para la inducción de mutaciones. En: *Primer Congreso Peruano de Mejoramiento Genético y Biotecnología Agrícola*, Perú, 17-19 mayo, 2010.
- Gnanamurthy, S.; Mariyammal, S.; Dhanavel, D.; Bharathi, T. 2012. Effect of gamma rays on yield and yield components characters R₃ generation in cowpea *Vigna unguiculata* Walp. *International Journal of Research in Plant Science* 2(2): 39-42.
- Hasbullah, N.; Taha, R.; Saleh, A.; Mahmud, N. 2012. Irradiation effect on *in vitro* organogenesis, callus growth and plantlet development of *Gerbera jamesonii*. *Horticultura Brasileira* (30): 252-257.
- Huari, P. 2014. Dosimetría de la azida de sodio para determinar el posible efecto mutagénico en semillas y bulbillos de "amancay" *Ismene amancaes* Ruiz y Pav. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú. 92 pp.
- Iglesias, L.; Sanchez, L.; Tivo, Y.; Luna, M.; Flores, N.; Noa, J.; Ruiz, C.; Moreno, J. 2010. Efecto de radiaciones gamma en *Abies religiosa* (Kunth) Schld. et Cham. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(1): 5-12.
- Jagajanantham, N.; Dhanavel, D.; Gnanamurthy, S.; Pavadai, P. 2013. Induced on chemical mutagens in Bhendi *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *International Journal of Current Science* 5: 133-137.
- Kashid, N.; More, S. 2016. A study of effect of induced mutation on flowering of plant in M₂ & M₃ generations in chickpea *Cicer arietinum* L. *Tropical Plant Research* 3(1): 182-185.
- Kayalvizhi, K.; Kannan, M.; Ganga, M. 2017. Effect of Physical and Chemical Mutagens on Morphological Characters in M1V2 Generation of Tuberose *Polianthes tuberosa* L. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(4): 2492-2499.
- Kozgar, M.; Goyal, S.; Khan, S. 2011. EMS induced mutational variability in *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *Research Journal of Botany* 6(1): 31-37.
- Lee, T.; Oh, T.; Yang, S.; Shin, J.; Hwang, S.; Kim, C.; Kim, H.; Shim, H.; Shim, J.; Ronald, P. 2015. RiceNet v2: an improved network prioritization server for rice genes. *Nucleic Acids Research* 43: 122-127.
- Ling, P.; Ung, Y.; Hussein, S.; Harun, A.; Tanaka, A.; Yoshihiro, H. 2013. Morphological and biochemical responses of *Oryza sativa* L. cultivar MR219 to ion beam irradiation. *Journal of Zheliang University Science* 14(12): 1132-1143.
- López, H.; Carrillo, J.; Chávez, J. 2012. Effects of gamma-irradiated seeds on germination and growth in *Capsicum annum* L. plants grown in a greenhouse. *Acta Horticulturae* 947: 77-81.
- Madigan, P.; Bodemann, O.; Brady, C.; Dewar, J.; Keller, J.; Leitges, M.; Phillips, R.; Ridley, J.; Der, J.; Cox, D. 2009. Regulation of Rnd3 localization and function by protein kinase C α -mediated phosphorylation. *Biochemical Journal* 424(1): 153-161.
- Maluszynski, M., B.S. Ahloowalia & B. Sigurbjörnsson, 1995. Application of *in vivo* and *in vitro* mutation techniques for crop improvement. *Euphytica* 85: 303-315.
- Marcu, D.; Cristea, V.; Daraban, L. 2013. Dose dependent effects of gamma radiation on lettuce *Lactuca sativa* var. *capitata* seedlings. *International Journal of Radiation Biology* 89(3): 219-223.
- Matijevic, M.; Bado, S.; Lagoda, P.; Foster, B. 2013. Impact of induced mutations in plant breeding. In: *Plant Genetics and Breeding Technologies*. Editorial Munduzci. Vienna. Austria. Pp. 45 – 47.
- Minisi, A.; El-mahrouk, M.; Rida, F.; Nasr, M. 2013. Effects of Gamma Radiation on Germination, Growth Characteristics and Morphological Variations of *Moluccella laevis* L. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences* 13(5): 696-704.
- Monica, S.; Seetharaman, N. 2016. Effect of gamma irradiation and ethyl methane sulphonate (EMS) in early generation of Garden bean *Lablab purpureus* L. Sweet var. *typicus*. *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research* 6(3): 398-410.
- Nasab, S.; Sharifi-Sirchi, G.; Torabi-Sirchi, H. 2010. Assessment of dissimilar gamma irradiations on barley *Hordeum vulgare* spp. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 2(4): 59-63.
- Pathirana, R. 2011. Plant mutation breeding in agricultura. En *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science. Nutrition and Natural Resources* 6(32): 1-20.
- Piri, I.; Babayan, M.; Tavassoli, A.; Javahen, M. 2011. The use of gamma irradiation in agriculture. *African Journal of Microbiology Research* 5(32): 5806-5811.
- Salas, L. 2015. La azida de sodio aplicada a las semillas de salvia *Salvia farinacea* Benth. var. Blue Bedder para cambios genéticos. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú. 74 pp.
- Salomón, J.; González, M.; Castillo, J.; Varela, M. 2015. Efecto de los rayos gamma sobre la germinación de

- la semilla botánica de papa *Solanum tuberosum* L. Cultivos Tropicales 38(1): 89-91.
- Tshilenge, L.; Kalonji, A.; Nlongolo, K.; Kizungu, R. 2013. Effect of Gamma Irradiation on Morpho- Agronomic Characteristics of Ground nut *Arachis hypogea* L. American Journal of Plant Sciences 4: 2186-2192.
- Suprasanna, P.; Mirajkar, S.; Bhagwat, S. 2015. Induced Mutations and Crop Improvement. In: Bahadur B.; Venkat Rajam M.; Sahijram L.; Krishnamurthy K. (eds) Plant Biology and Biotechnology. India. Pp 593 – 617.
- Udansi, O.; Arong, G.; Obu, J.; Ikpeme, E.; Ojobe, T. 2012. Radio-sensitivity of some selected landraces of pulses to gamma irradiation: indices for use as improvement and preservation techniques. American Journal of Experimental Agriculture 2(3): 320-335
- Usharani, K.; Kumar, C. 2015. Mutagenic efficiency and effectiveness of gamma rays and EMS and their combination in inducing chlorophyll mutations in M₂ generation of Urdbean *Vigna mungo* L. Electronic Journal of Plant Breeding 6(1): 210-217
- Vargas, L. 2016. Efecto de la azida sódica (NaN₃) en la germinación y morfología post germinación en café *Coffea* sp. Tesis de Biólogo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Perú. 116 pp.