

Germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Neltuma laevigata* W. irradiadas con cobalto 60

Germination and initial growth of cobalt-60 irradiated seedlings of *Neltuma laevigata* W.

Liliana Muñoz Gutiérrez¹, Julio César Ríos Saucedo^{2*}, Antonio Cano Pineda³

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, INIFAP.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle de México.

³INIFAP-Campo Experimental Saltillo,

*Autor para correspondencia: j_riossaucedo@hotmail.com.

RESUMEN

La aplicación de radiación gamma en especies forestales se ha empleado como una alternativa para incrementar los porcentajes de germinación en especies con dificultad para germinar, que presentan testa dura e impermeable y que requieren de algún tipo de escarificación, por tal motivo, el objetivo fue evaluar diferentes dosis de radiación gamma ⁶⁰Co sobre la capacidad germinativa y vigor de las semillas de mezquite, y crecimiento inicial de las plántulas. Se irradiaron semillas con diferentes niveles de dosis, desde los más bajos de 2 a 20 Gray hasta 200 y 300 (Gy). Se determinó la capacidad germinativa, longitud de radícula, número de plántulas normales y anormales y sus respectivos pesos frescos y secos. La germinación fue del 77 % cuando se aplicó 2 Gy; mientras que, semillas testigo fue de 43 %. Se observó mayor número de plántulas normales conforme aumentó la dosis de radiación; y el número de plántulas anormales (ausencia de raíz, de cotiledón, necrosis) fue en promedio de dos. Los resultados indicaron que dosis bajas generan un incremento en la capacidad germinativa de la especie sin daño físico aparente.

Palabras clave: Capacidad germinativa, ⁶⁰Co, dosis, longitud de radícula, plántulas anormales.

ABSTRACT

The application of gamma radiation in forest species has been used as an alternative to increase germination percentages in species with difficulty to germinate, that present hard and impermeable testa and that require some type of scarification, for this reason, the objective was to evaluate different doses of ⁶⁰Co gamma radiation on the germination capacity and vigor of mesquite seeds, and initial growth of seedlings. Seeds were irradiated with different dose levels, from the lowest of 2 to 20 Gray up to 200 and 300 (Gy). Germination capacity, radicle length, number of normal and abnormal seedlings and their respective fresh and dry weights were determined. Germination was 77 % when 2 Gy was applied, while the control seed was 43 %. A greater number of normal seedlings was observed as the radiation dose increased; and the number of abnormal seedlings (absence of root, cotyledon, necrosis) was an average of two. The results indicated that low doses generate an increase in the germination capacity of the species without apparent physical damage. Key words: Estrus, ovarian structure, fat addition.

Key words: Germination capacity, cobalt-60, dosage, radicle length, abnormal seedlings.

INTRODUCCIÓN

El mezquite es un recurso forestal maderable y no maderable con amplia distribución geográfica y ecológica en zonas áridas y semiáridas,

particularmente la especie *Neltuma laevigata* W. En el norte-centro de México tiene potencial para diversos usos, entre ellos para la construcción, forraje, combustible, medicina, fuente de alimento,



para retención de suelo y prevenir el proceso de desertificación, entre otros (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). *N. laevigata* tiene alta capacidad de regeneración natural por semilla y rebrote, sin embargo, las semillas presentan una cubierta seminal dura que impide la entrada de agua (latencia física) (Costilla-Hermosillo *et al.*, 2019), para germinar, la semilla requiere algún tipo de escarificación mecánica, física o química.

Tratamientos de escarificación han sido probados en *N. laevigata* con diferentes resultados; el lijado manual y remojo de la semilla en agua a 65 °C durante 4 min permite obtener entre 20 y 25 % de germinación (Sobrevilla-Solís *et al.*, 2013); mientras que, el método de licuadora por 30 s incrementó la germinación hasta 53 % (Rivas-Medina *et al.*, 2005). También, resultados favorables se han obtenido (91 % de germinación) con el uso de métodos químicos, cuando las semillas se sumergen en vinagre por 15 min y en ácido sulfúrico al 98 % por 15 min (Baes *et al.*, 2002).

Otra estrategia es la aplicación de bajas dosis de radiación gamma, cuyo efecto ha permitido incrementar la germinación de semillas y la supervivencia de las plántulas de especies forestales, entre ellas *Picea abies* (L.) H. Karst, *Pinus mugo* Antonio Turra, *Pinus nigra* J.F. Arnold, *Pinus sylvestris* L. (Iglesias-Andreu *et al.*, 2012), en *Pinus montezumae* Lamb. (González-Jiménez *et al.*, 1999), *Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et Cham. (Iglesias-Andreu *et al.*, 2010), *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) (Rojas-Vergara *et al.*, 2023) y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en donde dosis bajas de radiación (de 0.5 a 7.5 Gy) promueven la germinación con el incremento de la respiración celular, y en la planta se favorece la activación de enzimas, aumento en la producción de estructuras reproductivas, mayor crecimiento, maduración temprana, desarrollo acelerado y resistencia a enfermedades (Flores-López *et al.*, 2022).

Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el efecto de la radiación gamma con cobalto 60 (^{60}Co) sobre la capacidad de germinación y crecimiento inicial de mezquite, bajo la hipótesis de que a través de la exposición de las semillas a la radiación con ^{60}Co se altera la cubierta seminal y facilita la absorción de agua para estimular la germinación y crecimiento de la parte aérea y radicular de las plántulas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizaron semillas de mezquite recolectadas en el 2012, en un rodal semillero del Campo Experimental Valle del Guadiana del INIFAP, Durango, México, que se conservaron en condiciones de temperatura controlada, entre 15 y 18 °C, y contenido de humedad promedio de 9,4 %. Se colocaron 100 semillas en tubos tipo Eppendorf para exponerlas a las diferentes intensidades de radiación gamma con ^{60}Co en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicado en el km. 36.5 de la carretera México-Toluca, municipio de Ocoyoacac, Estado de México. México.

Tratamientos en estudio

Para los tratamientos de irradiación se tomaron como referencia las dosis definidas por (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2023), las cuales fueron: 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200 y 300 Gray (Gy) con tiempos de exposición que variaron de 6.5 min para la dosis más baja hasta 16.3 min para la dosis más alta, y dos testigos sin irradiar. El testigo positivo (TP) fue escarificado en agua a 90 °C durante 10 min y el testigo negativo (TN) sin ningún tratamiento.

Ensayos de germinación

El efecto de las dosis de radiación sobre la capacidad germinativa y crecimiento inicial de las plántulas se determinó con el establecimiento de ensayos de germinación, colocando 100 semillas distribuidas en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una, en cajas Petri con papel filtro humedecido con Captan®Ultra 50WP para evitar la formación de hongos y mantenerlas húmedas se mantuvieron dentro de una cámara de germinación con temperatura entre 28 y 32 °C.

Las evaluaciones iniciaron al tercer día después de la siembra y continuaron por una semana. Las variables que se registraron por tratamiento fueron i) capacidad germinativa (CG %) [$CG = (G/N) * 100$] (G: número total de semillas germinadas; N: número total de semillas de cada repetición); ii) número de plántulas normales (PN) y anormales (PAN), donde PN fueron aquellas con desarrollo vigoroso y que no presentaron daños visibles en ninguna de sus estructuras (Asociación Internacional de Análisis de Semillas [AOSA], 2002), y las PAN

fueron aquellas que registraron ausencia de raíz primaria, falta de un cotiledón, necrosis en uno o ambos cotiledones, raíz retorcida (que no crece en forma recta), necrosis en raíz y plántulas poco desarrolladas (AOSA, 2002); iii) longitud de radícula (cm) (LR) con regla graduada; iv) peso fresco (g) (PF) y seco (g) (PS) de plántulas, se obtuvo con una balanza de precisión Ohaus adventurer®, para PS se deshidrataron las muestras en una estufa de secado AR-290D a 72 °C durante 24 h.

Diseño experimental y análisis de los datos

El diseño experimental fue completamente al azar y cuatro repeticiones, en total 100 semillas por tratamiento. Para la variable germinación se estimó la media aritmética y porcentajes. Para las variables PN, PAn, LR, PF y PS se realizó el análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de medias con Tukey ($p \leq 0.05$), con el Programa de Análisis Estadístico SAS (SAS, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respuesta presentada en la capacidad germinativa y en los caracteres morfológicos de las plántulas depende de diversos factores entre ellos el grado de sensibilidad de la especie a la radiación gamma, específicamente la dosis, duración y tipo de agente mutagénico (Hasan *et al.*, 2020). Además de considerar las características ligadas a la planta, como la especie, la procedencia, el progenitor, la calidad de las semillas, contenido de humedad, el tipo de tejido, etapa de desarrollo y organización del genoma (Muhammad *et al.*, 2021).

Los tratamientos de radiación no fueron estadísticamente diferentes sobre la capacidad germinativa, pero sí sobre la longitud de raíz y el número de plántulas anormales ($\alpha \leq 0.0001$); además, fueron estadísticamente diferentes con un valor de $\alpha = 0.07$ el número de plántulas normales.

Las semillas irradiadas con 2 Gy presentaron los valores más altos de germinación (77 %), plántulas normales (15.5) y longitud de raíz promedio de 2.7 cm; mientras que, el testigo negativo (sin tratamiento), sólo obtuvo el 43 % de germinación, menor número de plántulas normales (7.8) pero con mayor longitud de raíz promedio de 3.4 cm. El resto de los tratamientos registraron valores de germinación entre 52 y 71 %, con máximo 15.5

plántulas normales y longitudes de raíces que variaron entre 1.6 a 5.8 cm (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) de los tratamientos sobre la germinación y crecimiento inicial de plántulas de mezquite.

Dosis (Gy)	CG (%)	PN (no.)	Pan (no.)	LR (cm)	PF (g)	PS (g)
TN	43 a	7.8 b	3.5 abc	3.4 abcde	0.197 a	0.025 a
TP	65 a	10.8 ab	5.8 ab	3.5 abcde	0.187 a	0.025 a
2	77 a	15.5 a	3.8 abc	2.7 bcde	0.185 a	0.028 a
4	52 a	11.3 ab	2.5 bc	1.6 e	0.195 a	0.029 a
6	62 a	12.0 ab	3.3 abc	2.9 bcde	0.205 a	0.028 a
8	71 a	12.0 ab	6.5 a	1.9 de	0.192 a	0.027 a
10	63 a	13.8 ab	1.8 c	3.7 abcde	0.205 a	0.027 a
15	65 a	13.0 ab	2.8 abc	2.7 bcde	0.192 a	0.026 a
20	61 a	14.8 ab	0.8 c	2.1 cde	0.210 a	0.030 a
30	62 a	11.5 ab	4.0 abc	3.3 abcde	0.190 a	0.026 a
40	59 a	13.0 ab	2.0 bc	2.8 bcde	0.185 a	0.025 a
50	54 a	12.0 ab	2.0 bc	2.7 bcde	0.210 a	0.028 a
75	57 a	11.0 ab	3.8 abc	4.3 abcd	0.222 a	0.028 a
100	48 a	9.8 ab	2.3 bc	5.8 a	0.197 a	0.024 a
150	61 a	13.5 ab	1.8 c	3.2 abcde	0.207 a	0.026 a
200	66 a	14.5 ab	1.8 c	4.8 abc	0.212 a	0.026 a
300	65 a	13.3 ab	3.0 abc	5.4 ab	0.200 a	0.024 a

TN: testigo negativo; TP: testigo positivo; CG: capacidad germinativa (%); PN: número de plántulas normales; PAn: Número de plántulas anormales; LR: longitud de radícula (cm); PF: peso fresco (g); PS: peso seco (g). Promedios con letras diferentes en cada variable son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$).

Las dosis de 2 a 300 Gy no presentaron diferencias estadísticas entre sí sobre la capacidad germinativa de las semillas de *N. laevigata*; sin embargo, la dosis de 2 Gy comparada con el testigo negativo (sin tratamiento) tuvo una diferencia del 34 % pero con menor longitud promedio de raíz (2.7 vs 3.4 cm).

En este sentido, diversos autores han señalado que las semillas irradiadas con radiación gamma originan plantas que manifiestan cambios en el balance hormonal, actividad enzimática y ciclo celular debido a daños en el DNA (Hong *et al.*, 2022). La planta tiene la capacidad para reparar el daño, por lo tanto, los cambios pueden expresarse en mejor vigor, crecimiento, rendimiento o supresión en las progenies (enanismo, clorosis) (Choi *et al.*, 2021).

Los resultados de la investigación contrastan con lo reportado para *N. laevigata*, con semillas



procedentes de Hidalgo y Durango, en donde la germinación fue del 96 % cuando las semillas se expusieron a 30 Gy, mientras que las dosis menos efectivas fueron de 6 y 150 Gy con el 36.3 % de germinación (Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2023).

Cuando las semillas no recibieron ningún tratamiento (testigo negativo) se obtuvo el 43 % de germinación y LR de 3.4 cm; mientras que cuando las semillas se escarificaron como comúnmente se hace para esta especie, el porcentaje de germinación fue mayor, del 65 % y LR de 3.5 cm. Estos son resultados aceptables considerando las condiciones de almacenamiento bajo las que se encontraban las semillas, indica que las semillas pueden permanecer viables hasta por más de 10 años en condiciones de temperatura ambiente con contenidos de humedad aceptables (9.4 %) para semillas ortodoxas, y germinan sin ningún tratamiento con mayores longitudes de raíz que cuando son sometidas a radiación (Tabla 1).

Es importante señalar que las dosis aplicadas no afectaron la germinación de las semillas de *N. laevigata* ni el número de plántulas normales, pero se observó que este proceso ocurrió al siguiente día de ser establecidos los ensayos. Esto puede deberse a que la radiación con ^{60}Co acelera la diferenciación de las células, afecta la síntesis de proteínas, el balance hormonal, el intercambio gaseoso y la actividad enzimática (Akshatha, 2014).

Sin embargo, dosis bajas entre 2 a 9 Gy aumentaron la germinación de las especies *Picea abies*, *Pinus mugo* y *Pinus hartwegii*, pero no fueron los mismos resultados para *Pinus nigra* y *P. sylvestris* (Iglesias-Andreu *et al.*, 2012). Contrario a lo reportado en semillas de *Abies religiosa* en donde dosis de radiación superiores a 5 Gy tuvieron un efecto adverso en la capacidad germinativa de las semillas, ya que a dosis de 20 Gy no se presentó germinación (Iglesias-Andreu *et al.*, 2010).

Por otra parte, el número de plántulas anormales, es decir, aquellas que presentaron signos de necrosis en la raíz o en los cotiledones, ausencia de raíz primaria, falta de un cotiledón, raíz retorcida o plántulas poco desarrolladas, fue mayor en aquellas semillas que recibieron dosis de radiación de 8 Gy (6.5 plántulas), y las dosis con menor efecto fueron 10, 20, 150 y 200 Gy con una o dos plántulas

anormales en promedio (Tabla 1).

La presencia de plántulas anormales no fue creciente conforme al aumento de la dosis de irradiación; sin embargo, por sus efectos se formaron varios grupos; con 8 Gy se contabilizaron 6.5 Pan; mientras que, dosis de 10, 20, 150 y 200 Gy únicamente originaron dos PAn (Tabla 1). Comportamiento diferente se presentó en la longitud de radícula, ya que al aumentar la dosis de radiación (75, 100, 200 y 300 Gy) aplicada a la semilla se observó un efecto positivo en dicha variable (4.3 y 5.8 cm); mientras que, dosis de 4, 8 y 20 Gy inhibieron el crecimiento de la raíz.

Estos resultados fueron similares con el efecto observado para la germinación de semillas de *Pinus banksiana* Lamb. y *P. sylvestris*, en donde las plántulas que germinaron con dosis más altas de radiación mostraron raíces cortas engrosadas y, por tanto, fueron menos vigorosas y no sobrevivieron, mientras que las dosis bajas de radiación utilizadas en ambas especies mostraron efectos similares sobre los caracteres de la altura de la plántula y el número de acículas (Sokolov *et al.*, 1998). De manera similar en plántulas de *Abies religiosa* que lograron germinar a dosis de 15 Gy mostraron raíces cortas y engrosadas, resultaron menos vigorosas y no sobrevivieron (Iglesias-Andreu *et al.*, 2010), lo anterior posiblemente se debe a daños en el proceso de división y elongación celular (Ward, 1988).

Finalmente, ninguno de los tratamientos, incluyendo el testigo positivo y negativo influyeron de manera significativa en la producción de biomasa aérea y radicular de las plántulas de mezquite. El material y la energía necesaria para el crecimiento inicial ya está contenido en las semillas, pero se necesitan algunos estimulantes para activar las sustancias ya almacenadas en los cotiledones. Las dosis bajas de irradiación pueden aumentar la activación y despertar el embrión joven, lo que resulta en la estimulación de la tasa de división celular y afecta no solo a la germinación sino también al crecimiento vegetativo (Piri *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

No fue consistente el efecto de las dosis de radiación sobre las variables, es decir, no hubo un incremento del porcentaje de germinación, ni longitud de raíz cuando aumentan las dosis de radiación o viceversa. Sin embargo, el uso de esta forma de incrementar la germinación de semillas, no garantiza la calidad de la planta producida para fines de reforestación, pueden presentarse cambios favorables o desfavorables en su morfología; por lo tanto, es necesario continuar con la evaluación de las plantas ya establecidas en campo y analizar la posible existencia de efectos sobre el crecimiento inicial.

LITERATURA CITADA

- Akshatha, C.K.R. (2014). Gamma sensitivity of forest plants of Western Ghats. *Journal of Environmental Radioactivity*, 132, 100-107. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.02.006>
- AOSA. (2002). Association of Official Seed Analysts. Seed vigor testing handbook. Contribution N° 32. 105 p.
- Baes, O.P., De Viana, M.L. & Sühling, S. (2002). Germination in *Prosopis ferox* seeds: Effects of mechanical, chemical and biological scarifications. *Journal of Arid Environments*, 50(1):185-189. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0859>.
- Choi, H.I., Min, H.S., Deuk, J.Y., Jeong, H.M., Hoon, K.S. & Baek, K.J. (2021). Effects of acute and chronic gamma irradiation on the cell biology and physiology of rice plants. *Plants*, 10(3), 439. <https://doi.org/10.3390/plants10030439>
- Costilla-Hermosillo, M.G., Ortiz-Morales, M., Loza-Cornejo, S., Frausto-Reyes, C. y Metwally, S. (2019). Bioestimulación láser para mejorar capacidad germinativa de semillas y el crecimiento de plántulas de *Prosopis laevigata* y *Jacaranda mimosifolia*. *Revista Madera y Bosques*, 25(2): e2521665. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521665>
- Flores-López, L.Y., Iglesias-Andreu, L.G., Palafox-Chávez, L. & Noa-Carranza, J.C. (2022). Hormetic effect of Gamma rays on *Pinus pseudostrobus* Lindl. seed. *Annals of Silvicultural Research*, 47(2):78-84. <https://doi.org/10.12899/asr-2401>
- González-Jiménez, J., Jiménez-Casas, M. y García-Torres, M.A. (1999). Mejoramiento del pino real (*Pinus montezumae* Lamb.) Parte I (12). https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/022/32022749.pdf
- Hasan, N.A., Rafii, M.Y., Rahim, H.A. & Ahmad, F. (2020). Mutagenic effect of ion beam irradiation on survival and seedling growth characters of Malaysian rice (*Oryza sativa* L.) variety MR84. *Annals of Agricultural Sciences*, 25(2): 228-233. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203510164>
- Hong, M.J., Kim, D.Y., Jo, Y.D., Choi, H.I., Ahn, J.W., Kwon, S.J., Kim, S.H., Seo, Y.W. & Kim, J.B. (2022). Biological effect of gamma rays according to exposure time on germination and plant growth in wheat. *Applied Sciences*, 12(6): 3208. <https://doi.org/10.3390/app12063208>
- Iglesias-Andreu, L.G., Octavio-Aguilar, P. & Bello-Bello, J. (2012). Current Importance and Potential use of low doses of gamma radiation in forest species. In: Adrovic F. editor. *Gamma Radiation*. Publisher InTech. Capter, 13: 263-280. <https://doi.org/10.5772/36950>
- Iglesias-Andreu, L.G., Sánchez-Velásquez, L.R., Tivo-Fernández, Y., Luna-Rodríguez, M., Flores-Estévez, N., Noa-Carranza, J.C., Ruiz-Bello, C. y Moreno-Martínez, J.L. (2010). Efecto de radiaciones gamma en *Abies religiosa* (Kunth) Schld. et Cham. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1): 5-12. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.06.021>
- Muhammad, I., Rafii, M.Y., Nazli, M.H., Ramlee, S.I., Harun, A.R. & Oladosu, Y. (2021). Determination of lethal (LD) and growth reduction (GR) doses on acute and chronic gamma-irradiated *Bambara groundnut* [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.] varieties. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 14(1): 133-145. <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1883320>
- Piri, I., Babayan, M., Tavassoli, A., & Javaheri, M. (2011). The use of gamma irradiation in agriculture. *African Journal of Microbiology Research*, 5(32), 5806–5811.
- Rivas-Medina, G. González-Cervantes, G., Valencia-Castro, C.M., Sánchez-Cohen, I. y Villanueva-Díaz, J. (2005). Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuate.



- Revista Técnica Pecuaria en México, 43:441–448.
- Rodríguez-Sánchez, I.M., Castillo-Martínez, C.R., Velasco-Bautista, E. & De la Cruz-Torres, E. 2023. Dosimetry and radio-stimulation in mesquite (*Neltuma laevigata* W.) seeds. *Agro Productividad*, 16(10): 61-68. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i9.2610>
- Rodríguez-Sauceda, E.N., Rojo-Martínez, G.E., Ramírez-Valverde, B., Martínez-Ruiz, R., Cong-Hermida, M.C., Medina-Torrez, S.M. y Piña-Ruiz, H.H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. Ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3): 173-193. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46131111013.pdf>
- Rojas-Vergara, P., González-Campos, J., Molina-Brad, M., Koch-Zúñiga, L., Vera-Castro, T., Velásquez-Opazo, E., Villegas-Nassar, D., Ly-MUÑOZ, D., De la Cruz-Torres, E. y González-Jiménez, J. (2023). Efecto de diferentes dosis de radiación gamma en una plantación recién establecida de *Eucalyptus nitens* en la Región del Biobío. *Ciencia & Investigación Forestal*, 29(1): 45-54. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.581>
- SAS. 2013. SAS Users Guide Statistics Version 9.4. SAS Institute Inc.
- Sobrevilla-Solís, A., López-Herrera, M., López-Escamilla, A.L., y Romero-Bautista, L. (2013). Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston. *Estudios Científicos en el Estado de Hidalgo y Zonas Aledañas*. 95.
- Sokolov, M.V., Isayenkov, S.V. & Sorochnynskyi, B.V. (1998). Low-dose irradiation can modify viability characteristics of common pine (*Pinus sylvestris*) seeds. *Tsitologiya Genetika*, 32(4): 65-71.
- Ward, J. F. (1988). DNA damage produced by ionizing radiation in mammalian cells: identities, mechanisms of formation, and repairability. *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*, 35:96-128.