

MÉTODOS BIOFÍSICOS EMPLEADOS EN LA AGRICULTURA Y SUS PRODUCTOS

María Cristina Julia Pérez-Reyes^{1*}, Gabriela Sánchez-Hernández¹, Flavio Arturo Domínguez-Pacheco² y Claudia Hernández-Aguilar^{2**}.

¹Unidad de Investigación en Granos y Semillas, FES-Cuautitlán Universidad Nacional Autónoma de México. ²SEPI-ESIME, Grupo de Sistemas Biofísicos para Agricultura, Alimentación y Medicina, Instituto Politécnico Nacional-Zacatenco.

*crisp28@yahoo.com.mx **clhernandez@ipn.mx

Resumen

De acuerdo con la FAO la producción agrícola mundial en el 2050 deberá aumentar un 60% para hacer frente a la creciente demanda de alimentos y piensos. Uno de los desafíos a los cuales se enfrentan los sistemas alimentarios y agrícolas es el cambio climático, representando una amenaza para la seguridad alimentaria, el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Los sistemas de producción agrícola actualmente se ven afectados por altas temperaturas y presencia de fenómenos meteorológicos extremos. El uso de métodos biofísicos como la luz láser, UV, campos magnéticos, entre otros, se han demostrado como una alternativa sostenible que presenta efectos positivos en la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas, además, de tolerancia al estrés hídrico. Asimismo, se han encontrado cambios a nivel fisiológico y bioquímico en algunos cultivos, al aumentar el contenido de fenoles y actividad antioxidante. La aplicación adecuada de estos métodos depende de parámetros como la intensidad, regímenes de irradiación, longitud de onda, frecuencia, longitud de penetración de la luz, tiempo de exposición, entre otros. Encontrando efectos positivos, negativos o nulos, por lo que se considera necesario seguir investigando y establecer el potencial bioenergético que aumente la activación de procesos bioquímicos y fisiológicos a

nivel celular como una alternativa para mejorar y establecer efectos de bioestimulación en semillas y plantas de importancia agroalimentaria y poder establecer los parámetros óptimos y lograr una calidad adecuada para los productos que de ellos derivan, como es la elaboración de tortillas, pan, harinas.

Palabras clave: Bioestimulación, semillas, plantas, luz láser, luz UV

Introducción

La demanda de alimentos para 2050-2100 es un reto global, siendo la cantidad poblacional estimada mayor a 11 mil millones, lo que conlleva a la construcción de más viviendas, dejando menos tierras cultivables para la producción de alimentos: agricultura vs urbanidad, una mayor conversión de la tierra con uso agrícola, aunado a la problemática del cambio climático, representando una amenaza para la seguridad alimentaria, el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza (Azadi *et al.*, 2018; ONU, 2022). Es necesario innovar en el uso de técnicas sustentables y responsables con los recursos naturales, como el uso de métodos físicos, a través del empleo de campos magnéticos, radiación con luz ultravioleta (UV), luz láser, campos eléctricos, rayos X, radiación ionizante y no ionizante, radiación con microondas (Hernández *et al.*, 2007, 2009, 2010, 2016). Estos métodos físicos se empezaron a usar a finales del siglo XX en semillas de trigo tratadas con campos magnéticos, logrando una aceleración en el tiempo de la germinación y desarrollo de las plántulas (Domínguez *et al.*, 2010). Los campos electromagnéticos son una combinación de campos de fuerza eléctricos y magnéticos invisibles, los cuales invierten su sentido con una frecuencia regular y se producen por medio de dispositivos, como bobinas que usan corriente alterna; si un campo eléctrico varía con el tiempo, se induce un campo magnético. Los efectos magnéticos en las plantas se manifiestan por la transferencia de energía sobre la materia, los radicales libres son atraídos o repelidos en función de su carga, los cuales la aumentan y se

activan (Domínguez *et al.*, 2010, Carbonell *et al.*, 2017, Zepeda *et al.*, 2019). El uso de los campos magnéticos en semillas o en el agua de riego, incrementa el porcentaje de germinación, mejorando sus condiciones, modificando la permeabilidad de la membrana celular, la capacidad de intercambio de iones, así como el aumento en la cantidad de ácidos grasos esenciales. Los efectos de la luz en las semillas han sido estudiados desde el siglo pasado, Flint y McAlister (1935) trabajaron con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y luz roja (promotora) e infrarroja (inhibidora), encontrando que el fitocromo y el criptocromo son los fotorreceptores que promueven o afectan el proceso de germinación. Más adelante, Borthwick *et al.* (1952) observaron que la inhibición causada por la luz infrarroja podía revertirse al usar luz roja. En relación con la luz UV se tienen tres tipos: UV-A (320-390 nm), UV-B (280-320 nm) y UV-C (valores menores a 280 nm); es una radiación que actúa como elicitador natural, que impacta fisiológica y bioquímicamente a las plantas, así como sus propiedades nutrimentales. Diversos estudios muestran que la bioestimulación con láser incrementa la tolerancia a la sequía, a través de cambios bioquímicos, fisiológicos y morfológicos, mejorando el desarrollo y metabolismo de las plantas e incrementando la expresión de genes para la producción de enzimas antioxidantes. Se han empleado láseres de bióxido de carbono (CO₂), helio-neón, diodos láser (principalmente rojo y verde), argón, NyYAG y CO₂ (Hernández, 2010; 2016). La radiación gamma, es otro tipo de radiación ionizante, electromagnética, se ha visto que induce un crecimiento lento, mutaciones genéticas y tolerancia a sequía. Cabe mencionar que la infraestructura tecnológica que la radiación gamma requiere es más compleja que los otros métodos físicos mencionados (tratamientos con luz láser, luz UV y campos electromagnéticos). Los campos eléctricos se aplican a través de una descarga de barrera dieléctrica, que consiste en dos electrodos colocados al final de un plato de cerámica dentro de una cámara de aislamiento con una entrada de energía eléctrica, empleando aire mezclado con nitrógeno como gas de separación. Otro

método físico es el plasma frío, seguro para tratar semillas y está compuesto por gases ionizados, átomos excitados, moléculas, electrones, un campo eléctrico fuerte y radiación UV, produciendo efectos estimulantes en las plantas (Gou *et al.*, 2017; Romero *et al.*, 2021). El uso de la radiación ionizante a nivel fisiológico estimula la producción de peróxido de hidrógeno, actuando como un mensajero intracelular en diferentes mecanismos de señalamiento (Gudkov *et al.*, 2019).

Objetivo

Contribuir al conocimiento y difusión de la aplicación de métodos biofísicos sostenibles como una alternativa pre-siembra, o durante las distintas fases del establecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas y su impacto en la mejora de la calidad y producción de los alimentos.

Desarrollo del tema

Uso de métodos biofísicos

Campos magnéticos

La germinación y el vigor de las semillas son algunos de los parámetros más importantes que se consideran para el establecimiento de las plantas en campo, en los últimos años se han empleado diversos métodos biofísicos para estimular los procesos fisiológicos y bioquímicos y mostrar un efecto positivo. Uno de ellos es el empleo de campos magnéticos, en semillas como el maíz encontrando una estimulación en la germinación, desarrollo de las plántulas y mejores condiciones de la calidad sanitaria (Hernández *et al.*, 2007, Zepeda *et al.*, 2014). En un trabajo realizado por Podleśna *et al.* (2019) encontraron que en semillas y plántulas de haba tratadas con campos magnéticos y con un pretratamiento de remojo por 96

h hay un incremento significativo del ácido acetil salicílico. Además, de otras fitohormonas como el ácido giberélico y el ácido indol 3 acético, con respecto a las semillas no tratadas. El uso de campos electromagnéticos y nixtamalización con nejayote/agua (50/50) mejoró la calidad sanitaria, viscosidad y elasticidad de la masa (Valderrama *et al.*, 2018). Por otro lado, Radhakrishnan (2019) empleó campos magnéticos para mitigar los efectos del cambio climático, así como el inadecuado uso de los recursos agrícolas en la producción de alimentos, destacando que se mejora la germinación de las semillas, bajo parámetros de radiación específicos.

Luz UV-C

La luz UV-C (200-280 nm) ha sido ampliamente empleada por su efecto germicida ya que inactiva diversos agentes patógenos (bacterias, hongos, virus) que causan efectos nocivos en la industria de alimentos y poscosecha durante el almacenamiento de frutos y vegetales, alargando la vida de anaquel (Singh *et al.*, 2020). En un trabajo realizado en semilla de maíz H-159 irradiada con lámparas de UV-C (15 W, 254 nm) durante 10 min se observó una reducción del 61.7% de *Fusarium moniliforme* y en el híbrido San Juan de 53.74% a un mayor tiempo exposición de 30 minutos (Rodríguez *et al.*, 2011). En maíz palomero tratado con luz UV-C a 254 nm de longitud de onda con una intensidad de $65.2 \mu\text{w cm}^{-2}$ y 3 regímenes de exposición, se encontró que el tratamiento de 20 min presentó una mayor reducción (57.6%) en la microbiota natural. En la prueba de reventado se encontró un aumento de 2.5% en los granos tratados con respecto a los no tratados (García, 2015). Thomas y Puthur (2017) describieron el uso de radiación UV como método para estimular la germinación y la producción de compuestos bioactivos benéficos para incrementar las condiciones de estrés biótico y abiótico. En un trabajo realizado en maíz amarillo tratado con luz UV-C (254 nm) y con un pretratamiento de remojo se encontró un aumento en el vigor del 31.63% a los 10

min y una disminución de la micobiota del 41.37%. En semillas irradiadas y sin preremajo la reducción (73.22%) fue mayor, mejorando la calidad sanitaria (Fernández, 2021).

Luz láser

La irradiación con luz láser se ha reportado también como un bioestimulador en semillas y plantas, mejorando parámetros fisiológicos, microbiológicos y la calidad nutrimental, así como, un incremento a la resistencia ante condiciones adversas de estrés (Hernández *et al.*, 2010; 2016). El avance de la tecnología en el uso de láseres de diodo ha permitido una mejora en las características para la instrumentación, la eficiencia y su vida útil funcional, además de ser económicos. En un trabajo realizado en semilla de frijol procedente de distintos ciclos agrícolas tratadas presiembra con luz láser diodo de 408 nm y potencia de 150 mW expuestas a 18 regímenes de irradiación (alternando 10 min con irradiación y 30 sin irradiación) por 24 h, se observó que las semillas con mayor longitud de penetración óptica mostraron un incremento en el porcentaje de germinación con respecto al control del 47% (Sánchez *et al.*, 2015). En semillas de cebada teñidas con azul de metileno y sin teñir, tratadas con luz láser diodo de 650 nm, con un tratamiento de pre-remojo y 4 regímenes de exposición, se encontró para ambos tratamientos una disminución de la micobiota en comparación con el control. La mayor reducción de la micobiota (52%) se observó en la semilla teñida a los 120 s de exposición, resultando ópticamente opacas, presentando un mayor coeficiente de absorción a 650 nm y un aumento en el efecto de la bioestimulación con la luz láser (Pérez *et al.*, 2015). En semillas de chícharo con un pretratamiento de remojo antes de ser sometidas a radiación con luz láser encontraron un aumento significativo en la producción de enzimas amilolíticas (Podleśna *et al.*, 2015). En la Tabla 1 se resumen los resultados de trabajos de investigación de investigadores y estudiantes del programa en Ingeniería de Sistemas en la SEPI-ESIME, IPN en

colaboración con académicos de la Unidad de Investigación en Granos y Semillas FESC- UNAM sobre la aplicación de métodos biofísicos.

Tabla 1. Efectos de métodos biofísicos en semillas y sus productos.

Planta	Criterio experimental	Efecto fisiológico/sanitario	Referencia
Maíz <i>Zea mays</i> L.	Irradiación (UV-C 15 W; 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 min) en híbridos de maíz San Juan y H-159.	En el híbrido San Juan a los 30 min se redujo la presencia de <i>F. moniliforme</i> de 53.74% y para H-159 a los 10 min del 61.7%.	Rodríguez <i>et al.</i> (2011).
Cebada <i>Hordeum vulgare</i> L.	Irradiación (luz láser 650 nm, 27.4 mW; 0, 60, 120, 240 y 480 s) en dos formas: natural y teñida con azul de metileno.	Disminuyó la micobiota natural asociada, en los regímenes probados, ambas condiciones, encontrando un mejor efecto en la semilla teñida.	Pérez <i>et al.</i> (2015).
Frijol <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Pretratamiento con agua, luz láser 408 nm, 150 mW, 18 regímenes de irradiación: 660 s de irradiación y 1800 s sin irradiación por 24 h.	La germinación se incrementó. Presentó variación de la bioestimulación en función del ciclo productivo y de las características ópticas de las variedades empleadas.	Sánchez <i>et al.</i> (2015).
Maíz palomero <i>Zea mays everta</i>	Pruebas de calidad sanitaria, irradiación (UV-C 254 nm, 65.2 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$; 0, 5, 10 y 20 min).	A los 20 min mejoró la calidad sanitaria (57.6% de reducción). En la prueba de reventado en los granos, aumentó 2.5%.	García (2016).
Maíz <i>Zea mays</i> L.	Granos tratados con campos electromagnéticos por 7 y 12 min, 0.42mT y nejayote en diferentes concentraciones.	La irradiación y el empleo de nejayote (50 agua/50 nejayote) mejoraron la calidad sanitaria. La elasticidad y viscosidad de la masa mostraron mejoras a los 12 min.	Valderrama <i>et al.</i> (2018).
Maíz amarillo <i>Zea mays</i> L.	Irradiación con luz UV-C (5, 10 y 15 min, 700 W) de dos muestras con y sin pretratamiento de remojo por 24 h.	Aumentó el vigor (31.73%) y disminuyó la micobiota natural (41.37%) en la semilla con remojo e irradiada 10 min. En la semilla irradiada y sin	Fernández (2021).

remojo, la reducción fue del 73.22% a los 10 min.

Conclusión

Los métodos biofísicos podrían ser empleados en un futuro como una tecnología alternativa en los sistemas de producción agrícola durante la pre y poscosecha, ya que numerosos estudios han demostrado su efecto positivo, negativo o nulo. Es importante seguir investigando y encontrar los parámetros adecuados de intensidad, potencia, longitud de onda, regímenes de irradiación y tiempos de exposición que produzcan efectos favorables mejorando los parámetros fisiológicos, microbiológicos, así como la calidad nutrimental de los productos.

Referencias

- Azadi, H., Keramati P., Taheri, F., Rafiaani, P., Teklemariam, D., Gebrehiwot, K., Hosseininia, G., Van Passel, S., Lebailly, P., & Witlox, F. (2018). Agricultural land conversion: Reviewing drought impacts and coping strategies. *International Journal Disaster Risk Reduction*, 31: 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.05.003>
- Borthwick, H.A., Hendricks, S.B., Parker, M.W., Toole, E.H., & Toole, V.K. (1952). A reversible photoreaction controlling seed germination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 38: 662-66.
- Carbonell, M. V., Flórez, M., Martínez, E., & Álvarez, J. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: Historia e influencia en sistemas biológicos. *Revista Intropica*, 12(2), <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2282>
- Domínguez, P.A., Hernández, A.C., Cruz, O.A., Carballo, C.A., Zepeda, B.R., & Martínez, OE. (2010). Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2): 183-188.

Fernández, G.J.M. (2021). *Efecto de la luz UV-C sobre la calidad fisiológica y sanitaria del maíz amarillo Zea mays L. (familia Poaceae) procedente de Santa Úrsula Chinconquiac, Puebla, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Flint, L.H. & McAlister E.D. (1935). Wavelengths of radiation in the visible spectrum inhibiting the germination of light-sensitive lettuce seed. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 94: 1-11.

García, T.A. (2016). *Irradiación de maíz palomero (Zea mays everta) con luz UV-C para el control de la microbiota natural*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Guo, Q., Wang, Y., Zhang, H., Qu, G., Wang, T., Sun, Q., & Liang, D. (2017). Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment. *Scientific Reports*, 7(1): 16680.

Gudkov, S.V., Grinberga, M.A., Sukhova, V., & Vodeneeva, V. (2019). Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 202: 8-24.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.02.001>

Hernandez, A.C., Carballo, C.A., & Domínguez, P.A. (2007). Effects produced by magnetic treatment to the maize seed (in Spanish). *Tecnología Química*, 4: 115-117.

Hernández, A.C., Domínguez, P.A., Cruz, O.A., Ivanov, R., Carballo, C.A., Zepeda, B.R., & Galindo, S.L. (2009). Laser irradiation effects on field performance of maize seed genotypes. *International Agrophysics*, 23: 327-332.

Hernández, A.C., Domínguez, P.A., Cruz, O.A., Ivanov, R., Carballo, C.A., & Zepeda, B.R. (2010). Laser in agriculture. *International Agrophysics*, 24(4): 407-422.

Hernández, A.C., Domínguez, P.A., Cruz, O.A., Podleśna, A., Rumen, I., Carballo, C.A., Pérez, R.M.C., Sánchez, H.G., Zepeda, B.R., & López, B.J.L. (2016). Bioestimulación Láser en Semillas y Plantas. *Gayana-Botánica*, 73: 132-49.

Rodríguez, P.C.L., Pérez, R.M.C., Hernández, A.C., Domínguez, P.F.A., Moreno, M.E., Cruz, O.A. & López, B.J.L. (2011). Control of natural mycobiota in maize grains by ultraviolet (UVC) irradiation. *Acta Agrophysica*, 18(2): 375-388.

Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Población mundial superará los 10.000 millones en 2100, proyecta DESA*. Recuperado en agosto 16 de 2022. <https://www.un.org/es/desa/population-exceed-10-billion>.

Pérez, R.M.C., Hernández, A.C., Domínguez, P.A., Cruz, O.A. & Moreno, M.E. (2015). The optical absorption coefficient and barley seeds investigated by photoacoustic spectroscopy and their effects of bioestimulation laser. *International Journal Thermophysics*, 36: 2389-2400.

Podleśna, A., Gładyszewska, B., Podleśny, J., & Zgrajka, W. (2015). Changes in the germination process and growth of pea in effect of laser seed irradiation. *International Agrophysics*, 29: 485-492.

Podleśna, A., Bojarszczuk, J. & Podleśny, J. (2019). Effect of pre-sowing magnetic field treatment on some biochemical and physiological processes in faba bean (*Vicia faba* L. spp. Minor). *Journal of Plant Growth*. 38: 1153-1160.

Radhakrishnan R. (2019). Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25: 1107-19. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>

Romero, G.R., Hernández, A.C., Domínguez, P.A., Godina, N.J.J. & Tsonchev, R.I. (2021). Biophysical methods used to generate tolerance to drought stress in seeds and plants: a review. *International Agrophysics*, 35(4): 389-410.

Sánchez, H.G., Hernández, A.C., Domínguez, P.F.A., Cruz, O.A., Pérez, R.M.C.J., & Martínez, M.E. (2015). The optical absorption coefficient of bean seeds investigated using photoacoustic spectroscopy. *International Journal of Thermophysics*, 36: 835-843.

Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim Ki-Hyun & Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417: 128084.

Thomas, D.T. & Puthur, J.T. (2017). UV radiation priming: a means of amplifying the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental Experiment Botany*, 138: 57-66. <https://doi:10.1016/j.envexpbot.2017.03.003>

Valderrama, B.C., Domínguez, P.F.A., Hernández, A.C., Sánchez, H.G., Pérez, R.C., Contreras, P.M., Rojas, G.T., & Oaxaca, L.A. (2018). Changes in masa and tortillas obtained from maize irradiated and nixtamalized with nejayote. *International Agrophysics*, 32: 387-394.

Zepeda, B.R, Hernández, A.C, Suazo, L.F, Domínguez, P.A.F., Virgen, V.J., Pérez, R.C., Peón, E.I. (2014). Electromagnetic field in corn grain production and health. *African Journal of Biotechnology*, 13(1): 76-83.

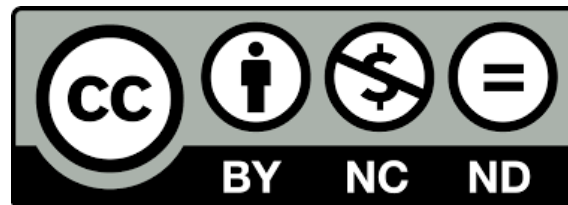
Zepeda, B.R., Virgen, V.J., Suazo, L.F., Domínguez, P.F.A., Rodríguez, R.H., Hernández, A.C. (2019). Campo electromagnético en plántulas, rendimiento y calidad de maíz en condiciones de campo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10: 629-642.



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Pérez-Reyes, M. C. J., Sánchez-Hernández, G., Domínguez-Pacheco, F. A. y Hernández-Aguilar, C. (2022). Métodos biofísicos empleados en la agricultura y sus productos. *MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC)*, Año 5, No. 5, septiembre 2022 - agosto 2023. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2022/mem2022_ExtensioPaper13.html