

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Efecto del tratamiento electromagnético de frecuencia extremadamente baja en el proceso de germinación de habichuela (*Vigna unguiculata* L.)

Effect of extremely low frequency electromagnetic field on beans germination (*Vigna unguiculata* L.)

Elizabeth Isaac Alemán^{1*} , Lianne Barrera Roca^{2**} , Yilan Fung Boix¹ ,
Albys Esther Ferrer Dubois¹ 

¹ Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Ave de las Américas s/n, P.O. Box 4078, Santiago de Cuba, Cuba, CP 90400

² Universidad de Oriente, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Ave. Patricio Lumumba s/n Altos de Quintero, Santiago de Cuba, Cuba, CP 90400

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 21/12/2019

Aceptado: 17/06/2020

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Elizabeth Isaac Alemán
elizabetha@uo.edu.cu
Lianne Barrera Roca
liannec@uo.edu.cu



RESUMEN

El siguiente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de un campo electromagnético de 60 Hz durante el proceso de germinación de semillas de habichuela *Vigna unguiculata* L. Se realizaron tres tratamientos electromagnéticos (2,00; 4,00 y 6,00 mT), para lo cual se empleó un dispositivo estimulador electromagnético local (BioNaK-03) (Patente No.22602/1999). Cada inducción se aplicó en 100 semillas sin embeber (SSI) por tratamiento y la misma cantidad a semillas en imbibición (SCI), durante 9 min. Se establecieron dos grupos control (SSE y SCI) a los cuales no se aplicó tratamiento electromagnético. Se evaluó el porcentaje de germinación, la rapidez de germinación, la longitud del brote y la raíz. Al finalizar se obtuvo un incremento del 13,3 % de germinación en las semillas imbibidas y tratadas con 2,00 mT, y reducción del 54 % de este parámetro para 4,00 mT en semillas sin imbibición. De igual forma, el mayor valor en la longitud del brote en las plántulas de habichuela se obtuvo para las plantas que recibieron el tratamiento electromagnético, mientras que se observó una reducción en la longitud de la radícula para el tratamiento de 6,00 mT. Los resultados, aunque no son del todo concluyentes, evidencian que la aplicación de un

tratamiento magnético de 2,00 mT durante 9 minutos mejoró el porcentaje y rapidez de germinación, así como el crecimiento de los brotes en semillas de *V. unguiculata*.

Palabras clave: campo electromagnético, porcentaje de germinación, velocidad de germinación

ABSTRACT

The 60 Hz electromagnetic field effects during the germination process in seeds of *Vigna unguiculata* L. with more than one year of storage was determined. Three electromagnetic treatments (2.00; 4.00 and 6.00 mT) were performed. A local electromagnetic stimulator device (BioNaK-03) (Patent No.22602/1999) was used. Each induction was applied to 100 seeds without imbibition (SSI) per treatment and the same to imbibition seeds (ICS) during 9 minutes. Two control groups (SSI and SCI) were established. Percentage of germination, germination speed and length of shoot and radicle were evaluated. At the end, 13.3 % of germination in imbibed and treated seeds with 2.00 mT was increased. A reduction in 54 % of this parameter to 4.00 mT in seeds without imbibition was obtained. Likewise, the highest value in shoot length in the seedlings of green bean for the plants that received the electromagnetic treatment was observed. At the same time, a reduction in the length of the radicle for the treatment of 6.00 mT was obtained. The results, although not entirely conclusive, show that the application of a magnetic treatment of 2.00 mT for 9 minutes improved the germination and growth of *V. unguiculata* seeds.

Keywords: electromagnetic field, percentage of germination, germination speed

INTRODUCCIÓN

La tecnología de semillas en el contexto actual y el uso de los métodos físicos para el incremento de la producción vegetal, ofrecen numerosas ventajas sobre los tratamientos convencionales basados en el uso de sustancias químicas. Los efectos de los tratamientos físicos sobre la vigorización en semillas están direccionados en múltiples niveles, que van desde los aspectos morfoestructurales hasta cambios en la expresión genética, las proteínas o el metabolismo (Araujo *et al.*, 2016).

Actualmente los sistemas agrícolas sostenibles a nivel mundial, tratan de encontrar tecnologías compatibles con el ambiente basadas en tratamientos físicos y biológicos para incrementar el vigor de las semillas, el establecimiento de cultivos y la producción agrícola.

A pesar de que la agricultura contemporánea utiliza en gran medida compuestos químicos, el uso de factores físicos podría representar una buena alternativa para aumentar el rendimiento de la producción agrícola (Radhakrishnan, 2019).

Los métodos físicos para revitalizar las semillas ofrecen varias ventajas sobre los tratamientos convencionales basados en sustancias químicas (Lasso-Rivas, 2019 y Radhakrishnan, 2019). En primer lugar, se ha comprobado el efecto positivo de los campos magnéticos en la tolerancia al estrés biótico y abiótico, así como el incremento en los rendimientos de muchos cultivares. Otra ventaja es que también se pueden utilizar métodos físicos para la desinfección de las semillas antes de la siembra y durante el almacenamiento (Vashisth and Nagarajan, 2010).

El uso de campos magnéticos como tratamiento físico para aumentar la germinación de semillas y emergencia de plántulas es uno de los métodos seguros y razonables en los sistemas de producción agrícolas (Digbal *et al.*, 2016 y Golbaz and Kaviani, 2019), de esta forma los campos magnéticos se describen como tecnologías ecológicamente amigables, económicas y no invasivas (Araujo *et al.*, 2016).

Los efectos de los campos magnéticos sobre la fisiología de las plantas aún no están claros.

Sin embargo, varios autores describen el efecto positivo del tratamiento magnético en parámetros como el porcentaje de germinación, vigor, crecimiento de los brotes, contenido clorofílico, entre otros (Aladjadjian, 2010; Vashisth y Nagarajan, 2010; Digbal *et al.*, 2016 y Golbaz and Kaviani, 2019). Los organismos vegetales responden de diversas maneras ante este efecto físico. Sus respuestas dependen de la intensidad del campo magnético, el tiempo de exposición, la preparación de la semilla y de la especie (Aladjadjian, 2010).

Por todo lo anterior el objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja (60 Hz) durante la fase de germinación en semillas de habichuela *Vigna unguiculata* L. en fase de germinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) ubicado Santiago de Cuba, Cuba. La experimentación se realizó desde el 17 de mayo hasta el 10 de julio de 2016. El estudio se realizó con semillas certificadas de *V. unguiculata*, provenientes del Laboratorio de Semillas de la Delegación Provincial de la Agricultura del propio municipio, con 18 meses de almacenamiento en bolsas de plástico recubiertas con papel, a una temperatura de $10 \pm 0,1$ °C.

La experimentación constó de seis tratamientos, con una inducción magnética (B) de (2,00; 4,00 y 6,00 mT), y tiempo de exposición de nueve minutos. Cada tratamiento, se aplicó en 100 semillas sin

embeber (SSI) por tratamiento y la misma cantidad a semillas en imbibición (SCI). Se estableció además un grupo control sin exposición a los campos electromagnéticos para cada grupo de semillas (con y sin imbibición) (Tabla 1).

Para la aplicación del tratamiento magnético se empleó un dispositivo estimulador electromagnético local para cultivos in vitro (BioNaK-03) (Patente No.22602/1999) (Domínguez *et al.*, 1999) que permitió obtener estas inducciones magnéticas. Este dispositivo construido y diseñado en el CNEA, está situado en un local, donde no existen otras fuentes electromagnéticas ni materiales ferromagnéticos. Consiste en dos bobinas paralelas cuyas dimensiones son las siguientes: 56 cm de diámetro con 363 vueltas de alambre de cobre de 1,1 mm (No. 17 según las Normas AWG). Las bobinas se encuentran acopladas a un generador de señal de onda sinusoidal¹². El campo electromagnético generado por las bobinas fue evaluado con un gaussímetro (0,01 mT de resolución; Magnet-Physics, Model FH 54; CWIEME, Berlin, Alemania).

El método de germinación fue sobre papel de filtro humedecido con 1 ml de agua destilada en placas de Petri (11 x 1,5 cm), con una humedad relativa que osciló entre 60 -70 % y temperatura entre los 22-24 °C (ISTA, 2020).

Luego de ocho días, se analizó el porcentaje de germinación, la rapidez de la germinación, así como la longitud del brote y la raíz, en todos los grupos experimentales. Para calcular la rapidez de la germinación (X), el número de semillas germinadas fue contada diariamente hasta el día ocho, cuando no se produjo la germinación de más semillas. Para ello se utilizó la ecuación siguiente (ISTA, 2020).

Tabla 1. Tratamiento magnético aplicado para la germinación de semillas de *V. unguiculata*, durante nueve minutos de exposición

Imbibición	Control	B ₁ (mT)	B ₂ (mT)	B ₃ (mT)
Semillas en imbibición en agua destilada durante 24 horas (SCI)	0	2,00	4,00	6,00
Semillas sin imbibición en agua destilada (SSI)	0	2,00	4,00	6,00

B: inducción magnética (mT)

$$\sum \frac{Ni}{ti}$$

El diseño utilizado fue completamente aleatorizado con tres réplicas para cada tratamiento. Para el análisis de los resultados se realizó un ANOVA de clasificación simple y un test de rangos múltiples para comparar las medias con el paquete StatGraphics Plus 5.1 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra los resultados de la influencia a la exposición de diferentes inducciones magnéticas (2,00; 4,00 y 6,00 mT) de frecuencia extremadamente baja (60 Hz) en el porcentaje y la rapidez de germinación de semillas de la especie *V. unguiculata*.

El análisis realizado mostró que para las semillas que estuvieron sometidas a un proceso de imbibición durante 24 h antes del tratamiento electromagnético, la inducción de 2,00 mT arrojó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos y el control, con un incremento del 13,3 % de germinación. De igual modo, no se obtuvo diferencias significativas en la rapidez de germinación en las semillas que reciben el tratamiento

magnético, excepto para el tratamiento de 4,00 mT, en el que se observó menor velocidad de germinación de las semillas, con diferencias significativas con respecto a demás tratamientos y el control. Resultado que coincide para las semillas sin imbibición.

Durante el proceso de germinación, que se inicia con la absorción rápida de agua por las semillas y culmina cuando emerge la radícula, se producen alteraciones temporales en la permeabilidad diferencial de las membranas, con pérdidas pasivas de diferentes metabolitos de baja masa molar (azúcares, ácidos orgánicos, iones, aminoácidos y péptidos) lo que indica la transformación de los componentes fosfolipídicos de la membrana celular. Se produce incremento de la síntesis de ATP, de la actividad respiratoria y de un amplio rango de enzimas. Se aumenta la síntesis de ADN y con ello la síntesis proteica, así como una alta actividad mitótica (Hsin-Hsiung and Show-Ran, 2008).

Algunos autores observaron que durante la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja los canales y poros de las membranas celulares permanecen abiertos por más tiempo y se produce un incremento en la absorción de nutrientes incrementándose de esta forma el metabolismo

Tabla 2. Efecto de la exposición a diferentes tratamientos electromagnéticos de 60 Hz en el proceso de germinación de semillas de *V. unguiculata*

Tratamiento	Porcentaje de germinación	Rapidez de germinación (X)
SCI		
Control	73 ns	12,6 ns
B ₁	85*	10,6 ns
B ₂	79 ns	9,8*
B ₃	74 ns	10,6 ns
ES (5 %)	2,0	1,86
SSI		
Control	75 ns	10,4 ns
B ₁	82 ns	10,6 ns
B ₂	48*	5,1*
B ₃	80 ns	9,2 ns
ES (5 %)	3,04	2,07

SCI: Semillas en imbibición en agua destilada durante 24 h; SSI: Semillas sin imbibición en agua destilada; B inducción electromagnética; B₁: 2,00 mT; B₂: 4,00 mT; B₃: 6,00 mT; ES: error estándar; *: diferencias significativas, ns: diferencias no significativas (95 % de significación)

celular (Hsin-Hsiung and Show-Ran, 2008). También pueden incidir en una mayor degradación de sustancias orgánicas y en el aumento de la tasa de respiración, lo cual pudiera repercutir en eficiente germinación de los embriones como sucedió en el tratamiento de 2,00 mT. Por lo que el incremento en el porcentaje de la germinación de las semillas de habichuela pudiera relacionarse con este proceso.

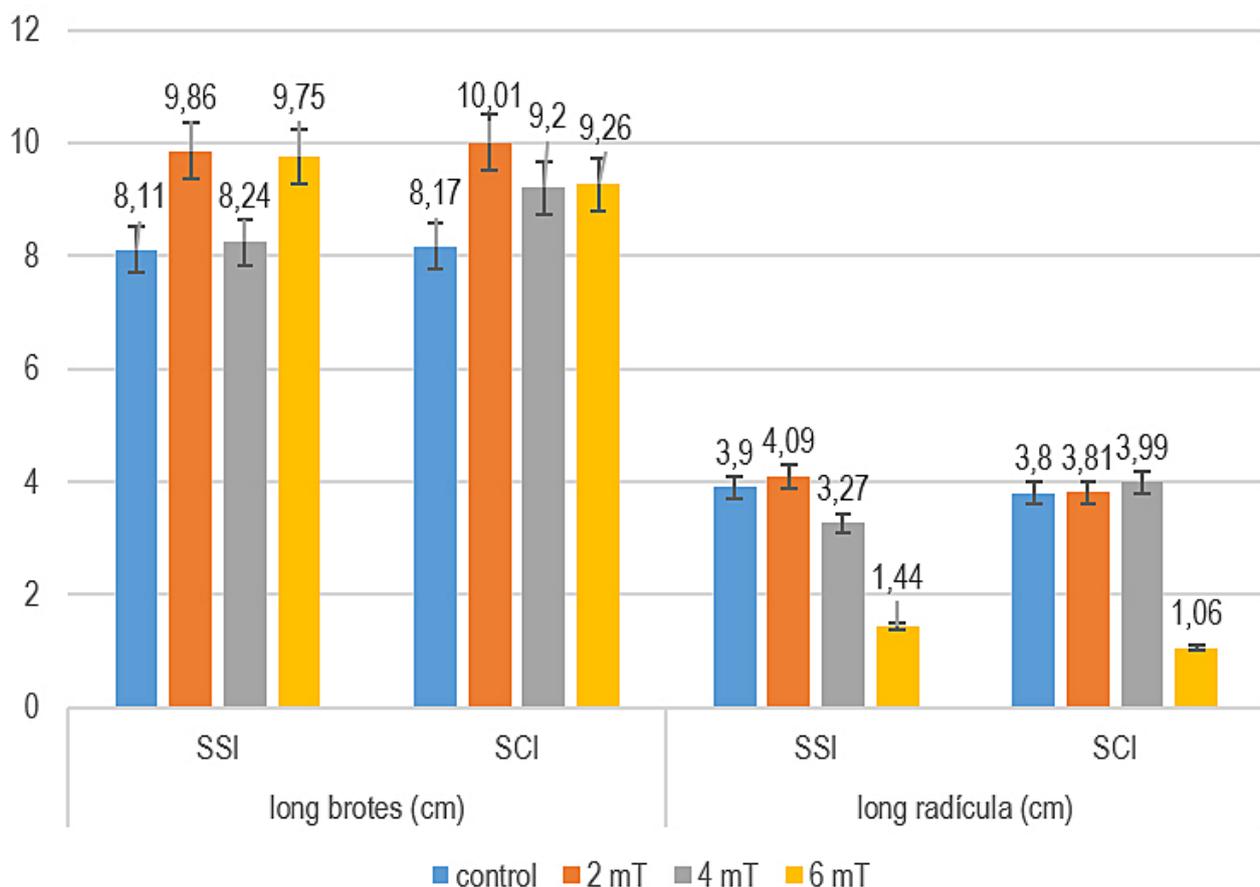
Florez *et al.* (2004) observaron que durante la brotación temprana y las primeras etapas del crecimiento de plantas tratadas de arroz mostraron incremento en la tasa de germinación y en la masa y longitud de las plantas con respecto al control, resultados que coinciden con los obtenidos en este trabajo.

Los resultados obtenidos también son coherentes a los mostrados en el mejoramiento

de la germinación, índice de germinación tiempo medio de germinación e índice de vigor superior en un 54,52 % en semillas de *Albizia lebbbeck* (Tanvir *et al.*, 2015) y de *Coffea arabica* L. (Isaac *et al.*, 2014).

En la Figura se muestran los resultados del efecto de la exposición a diferentes inducciones electromagnéticas en el crecimiento de las plántulas de habichuela, luego de la germinación de las semillas.

Al analizar los resultados se obtuvo que los mayores valores de longitud del brote se lograron para las inducciones de 2,00 mT y 6,00 mT con diferencias significativas con respecto al control y al tratamiento de 4,00 mT, en las semillas sin imbibición. Mientras que, para las semillas que estuvieron en imbibición antes del tratamiento electromagnético no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos,



95% de significación - Las barras indican el error estándar

Figura. Efecto de la exposición a diferentes tratamientos electromagnéticos de 60 Hz en el crecimiento de plántulas de *V. unguiculata* a partir de semillas imbibidas (SCI) y sin imbibición (SSI) luego de 8 días de iniciado el proceso de germinación

pero si con respecto al control.

Los resultados obtenidos son similares a los encontrados por Isaac *et al.* (2019), que evaluaron diferentes dosis de exposición en cinco especies hortícolas: *Cucumis sativus* L. (pepino), *Solanum melongena* L. (berenjena), *Allium* sp. (cebollino), *Lactuca sativa* L. (lechuga) y *Rhaphanus sativus* L. (rábano). Estos autores demuestran que la germinación de las semillas bajo el efecto de un campo electromagnético de 60 Hz no es directamente proporcional a la dosis aplicada. Estos bioefectos pudieran deberse a que el campo electromagnético obtenido por el BioNak-03 no es homogéneo y se generan armónicos de segundo orden. Estos armónicos probablemente son los que inciden en el proceso de germinación y crecimiento de las semillas y plántulas obtenidas (Isaac *et al.*, 2014).

Los resultados de la longitud de la radícula, sin embargo, en las semillas sin imbibir mostraron los mayores valores para el tratamiento de 2,00 mT sin diferencias significativas con el control, pero si con los tratamientos de 4,00 mT y 6,00 mT. En el caso de las semillas que se encontraban en fase de imbibición no se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos y el control excepto para el tratamiento de 6,00 mT.

Se debe considerar que el proceso de germinación se desencadena con la adsorción y absorción del agua por las semillas, aunque varios autores han mostrado el efecto positivo que ejerce el tratamiento electromagnético en la estimulación de procesos bioquímicos y fisiológicos de las semillas (Martinez *et al.*, 2017; Kornarzynskiet *et al.*, 2018 y Radhakrishnan, 2018).

Los resultados obtenidos, sugieren que es el campo electromagnético en sí lo que juega un papel fundamental en el proceso de crecimiento de las plántulas de habichuela, más que en el proceso de germinación.

Al respecto, es de destacar que la dirección de la expansión celular está regulada por la orientación de microfibrillas de la celulosa en las paredes celulares. Este cambio a su vez está controlado por la orientación de los

microtúbulos corticales (Binhi and Savin, 2002) y se plantea que un campo electromagnético variable en el tiempo induce cambios en la orientación celular y arquitectura de los tejidos (Cakmak *et al.*, 2010). Al parecer el campo electromagnético promueve la orientación transversa de los microtúbulos y por tanto se acelera la elongación celular y con ello el incremento en la longitud del brote de las plántulas en esta etapa. Estos resultados coinciden con los obtenidos en *Phaseolus vulgaris* L. para inducciones de (2 ó 7 mT).

Aunque los efectos del uso del campo electromagnético casi siempre resultan en el incremento de las variables evaluadas, también se han obtenido disminuciones en algunos de estos parámetros. Este resultado se obtuvo para la longitud de la raíz en el tratamiento de 6,00 mT. La explicación a esta respuesta pudiera relacionarse con el llamado efecto dosis, en el que el factor tiempo de exposición juega un papel fundamental cuando se relaciona con la inducción magnética.

Los mecanismos mediante los cuales las plantas perciben los campos magnéticos y regulan las vías en la transducción de la señal no están dilucidados. Ghodbane *et al.* (2013) sugirieron que la percepción/señalización en plantas está mediada por los fotoreceptores de luz azul - criptocromos. Sin embargo, algunos autores refieren que estos aspectos de magnetobiología aún requiere de una profunda investigación.

CONCLUSIONES

Los resultados, aunque no son del todo concluyentes, evidencian que la aplicación de un tratamiento magnético de 2,00 mT durante 9 minutos mejoró el porcentaje y rapidez de germinación, así como el crecimiento de los brotes en semillas de *V. unguiculata*. Sin embargo, para la inducción de 4,00 mT se obtuvo una reducción del porcentaje de germinación por lo que se deberá seguir profundizando en los mecanismos mediante los cuales las semillas responden ante los efectos de un campo electromagnético.

CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

Elizabeth Isaac Aleman: Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Interpretación de los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

Lianne Barrera Roca: Responsable de validar y verificar la replicación general de los experimentos y otros resultados obtenidos en la investigación. Fue el responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial).

Yilan Fung Boix: Contribuyó en la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas para analizar o sintetizar los datos de estudio obtenidos. Hizo la revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo.

Albys Esther Dubois: Desarrolló y diseñó las metodologías seguidas en la ejecución del experimento; participó en la creación de los modelos utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

ARAUJO, S., PAPARELLA, S., DONDI, D., *et al.* 2016. Physical Methods for Seed Invigoration: Advantages and Challenges in Seed Technology. *Frontiers in Plant Science*, vol. 7, Art 646, doi: [10.3389/fpls.2016.00646](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646).

ALADJADJIYAN, A. 2010. Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. *Int. Agrophys*, 24: 321-324. <http://www.old.internationalagrophysics.org/en/issues.html?stan=detail&vol=24&numer=3&paper=868&i=14>.

BINHI, V.N. and SAVIN, A.V. 2002. Molecular gyroscope and biological effects of weak of extremely low- frequency magnetic fields. *Physical Review E*, 65(051912): 1-10, doi: [10.1103/PhysRevE.65.051912](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.65.051912).

CAKMAK, T., DUMLUPINAR, R. and ERDAL, S. 2010. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bioelectromagnetics*, 31, 120-129. doi: [10.1002/bem.20537](https://doi.org/10.1002/bem.20537).

DIGBAL, M., HAQ, Z., MALIK, A., *et al.* 2016. Pre-sowing seed magnetic field stimulation: A good option to enhance bitter melon germination, seedling growth and yield characteristics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 5: 30 - 37, doi: [10.1016/j.bcab.2015.12.002](https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.12.002).

DOMÍNGUEZ, H., FONG, A., REGUERA, F., *et al.* 1999. Estimulador electromagnético para cultivos “*in vitro*” (BioNak-03). Patente No. 22602/1999.

FLOREZ, M., CARBONELL, M.V. y MARTÍNEZ, E. 2004. Early sprouting and first stages of growth of rice seeds exposed to a magnetic field. *Electro and Magnetobiology*, 23(2): 167-176. <https://doi.org/10.1081/LEBM-200042316>.

GHODBANE, S., LAHBIB, A., SAKLY, M., *et al.* 2013. Bioeffects of static magnetic fields: oxidative stress, genotoxic effects, and cancer studies. *Biomed. Res. Int.*, 602987. <https://doi.org/10.1002/bem.20432>.

GOLBAZ, G. and KAVIANI, B. 2019. Effect of Magnetic Field on Growth and Development Parameters of *Rudbeckia hirta* L. Seed in Dry and Humid Conditions. *Journal of Ornamental Plants*, 9(4): 233-243. http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_667497.html.

HSIN-HSIUNG, H. and SHOW-RAN, W. 2008. The effects of inverter magnetic fields on early seed germination of mung beans. *Bioelectromagnetics*, 29 (8): 649.

ISAAC, E., RAFAEL, O., ANDRE, A., *et al.* 2014. Effects of 60 Hz sinusoidal magnetic field on *in vitro* establishment, multiplication

- and acclimatization phases of *Coffea arabica* seedlings. *Bioelectromagnetics*, (35): 414-425. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.21859/full>.
- ISAAC, E., RUIZ, R., BARRERA, L., *et al.* 2019. Respuesta de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. Cap. 8, p 79-90. Ciencia em foco. Editorial Pantanal, Brasil.
- ISTA. 2020. International Rules for Seed Testing. Chapter 2, 52 p. <https://www.seedtest.org/upload/cms/user/ISTARules202002Sampling.pdf>.
- KORNARZYNSKI, K., DZIWULSKA-HUNEK, A., KORNARZYNSKA-GREGOROWICZ, A., *et al.* 2018. Effect of electromagnetic stimulation of amaranth seeds of different initial moisture on the germination parameters and photosynthetic pigments content. *Scientific Reports*, 8 (1): 14023. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-32305-5>.
- LASSO-RIVAS, N. 2019. Efectos positivos del campo magnético en plantas cultivadas. *Intropica*, 14 (2), <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.3066>.
- MARTÍNEZ, E., FLOREZ, M. and CARBONELL, M.V. 2017. Stimulatory effect of the magnetic treatment on the germination of cereal sedes. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2 (1): 375-381, doi:10.22161/ijeab/2.1.47.
- RADHAKRISHNAN, R. 2018. Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean sedes. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24(2): 343-347, doi: 10.1007/s12298-018-0505-8.
- RADHAKRISHNAN, R. 2019. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiologic Molecular Biology Plants*, <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>.
- TANVIR, M. A., YAQOOB, S., HAQ, Z., *et al.* 2015. Germination potential in *Albizia lebeck* and *Acacia nilotica* seeds as treated with magnetic field. *Journal Agriculture Research*, 53(1): 119-127. https://pdfs.semanticscholar.org/bfc7/b19e0400e76f0fd961fe9ebd95c192a44382.pdf?_ga=2.140969978.938654944.1584562757-1711229100.1584562757.
- VASHISTH, A. and NAGARAJAN, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal Plant Physiology*, 167: 149-156, DOI: 10.1016/j.jplph.2009.08.011.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.