

## Efectos positivos del campo magnético en plantas cultivadas Positive effects of the magnetic field on crops

Nilsen Lasso-Rivas\*<sup>1b</sup>

Programa de Agronomía, Universidad del Pacífico, Buenaventura, Colombia

\*Autor de correspondencia: [nileonard@yahoo.com](mailto:nileonard@yahoo.com)

Recibido: 29 enero de 2019

Aceptado: 20 de junio de 2019

Publicación en línea: 31 de diciembre de 2019

### Resumen

**Palabras clave:**  
campo magnético; germinación de semillas; agua tratada magnéticamente; estrés abiótico; crecimiento; rendimiento

Esta revisión describe los efectos del campo magnético en el crecimiento y rendimiento de plantas cultivadas. El trabajo está basado en referencias obtenidas de las bases de datos Springer, Science Direct, Scielo, ResearchGate, EBSCO y Google Académico empleando como descriptores: tratamiento magnético, producción de cultivos, agua tratada magnéticamente y germinación de semillas. La introducción ofrece una breve descripción de las características del campo magnético de la tierra, sus unidades de medida y una justificación del interés en el estudio de los efectos del campo magnético en las plantas cultivadas; luego se discute el efecto de la exposición directa de las semillas de diferentes especies cultivadas a campos magnéticos estáticos y/o alternos en relación con la germinación y diversos parámetros de crecimiento y rendimiento; también se explora el efecto positivo del tratamiento con campos magnéticos en la tolerancia de las plantas a los efectos negativos generados por el estrés abiótico. Finalmente se discuten los efectos del tratamiento con agua tratada magnéticamente. Se concluye que debido a la amplia variedad de efectos positivos que generan los tratamientos con campos magnéticos, los cuales van desde la mejora en la germinación de las semillas hasta la protección contra los efectos nocivos causados por algunos tipos de estrés abiótico, existe un gran potencial para que estos puedan ser implementados con el objetivo de mejorar el crecimiento y rendimiento de algunos cultivos.

### Abstract

**Key words:**  
magnetic field; seed germination; magnetically treated water; abiotic stress; growth; yield

This review describes the effects of the magnetic field on the growth and yield of cultivated plants, it is based on references obtained from multiple databases such as Springer, Science Direct, Scielo, ResearchGate, EBSCO, and Google Scholar, as descriptors were used the terms: magnetic treatment, crop production, magnetically treated water and seed germination. The introduction offers a brief description of the characteristics of the earth's magnetic field, its units of measurement and a justification of the interest in studying the effects of the magnetic field on cultivated plants. The effect of direct exposure of the seeds of different crop species to static and / or alternating magnetic fields in relation to germination and various parameters of growth and yield is then discussed. The positive effect of the treatment with magnetic fields on the tolerance of plants to the negative effects generated by abiotic stress is also explored. Finally, the effects of the treatment with magnetically treated water are discussed. It is concluded that the treatment with magnetic fields has beneficial effects for the germination of the seeds, increases the growth and development of the plants, and can alleviate the negative effects caused by some types of abiotic stress, so the magnetic treatments could be implemented with the aim of improving the growth and yield of some crops.

## Introducción

El planeta Tierra actúa como magneto con sus polos norte y sur, el campo magnético de la Tierra o campo geomagnético (CGM) es un componente natural del medio ambiente y un factor ambiental omnipresente para todos los organismos del planeta (Radhakrishnan y Kumari, 2013). El campo magnético tiene dos variables interrelacionadas, la inducción magnética (B) cuya unidad es el tesla (T) y la intensidad magnética (H) con unidades de amperios por metro (A·m<sup>-1</sup>). La intensidad del CGM varía entre 35 μT cerca del ecuador y 70 μT cerca de los polos magnéticos (Occhipinti *et al.*, 2014). Desde hace mucho tiempo se sabe que la presencia del CGM ejerce efectos en los seres vivos e influencia varios procesos biológicos (Feychting *et al.*, 2005; Galland y Pazur, 2005).

La ciencia enfrenta el serio desafío de duplicar la producción mundial de cultivos para el año 2050, como consecuencia del continuo aumento de la población mundial y para satisfacer la futura demanda de alimentos, los cambios en la dieta y el aumento del consumo de biocombustibles (Ray *et al.*, 2013). Para resolver ese problema se llevan a cabo investigaciones en diferentes tópicos en la agronomía, siendo uno de estos el estudio de los efectos de la aplicación de campos magnéticos (CM) o electromagnéticos (CEM) a las plantas los cuales han demostrado un efecto positivo en el crecimiento (Pietruszewski y Martínez, 2015).

Las investigaciones acerca del efecto del CM en las plantas se hacen de dos formas: con el método de exposición directa, en el cual las plantas se exponen directamente a campos electromagnéticos, o con el método indirecto, en el cual se utiliza agua tratada magnéticamente (ATM) (Montriwat y Limpanuparb, 2016; Chibowski y Szcześ, 2018). En la exposición directa se emplean cuatro tipos diferentes de campos magnéticos: (1) campos magnéticos estáticos homogéneos débiles (de 0 a aproximadamente 100 μT), (2) campos magnéticos homogéneos intensos (mili Tesla a Tesla), (3) campos magnéticos no homogéneos intensos y (4) campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF) (Galland y Pazur, 2005).

A continuación, se presentarán los resultados de estudios sobre los efectos de los tratamientos con CM en plantas cultivadas. Primero se explorarán los efectos de la exposición directa de las semillas a campos magnéticos estáticos y/o alternos en relación con la germinación, crecimiento y rendimiento, así como los efectos de dicha exposición en la tolerancia de las

plantas a los efectos negativos generados por el estrés abiótico. Posteriormente se abordarán los efectos de tratamientos con ATM en los parámetros arriba mencionados, para cada uno de los casos se discutirán los posibles mecanismos involucrados en dichas respuestas.

La metodología consistió en realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura utilizando las bases de datos Springer, Science Direct, Scielo, ResearchGate, EBSCO y Google Académico empleando como descriptores: tratamiento magnético, producción de cultivos, agua tratada magnéticamente y germinación de semillas. Los artículos fueron seleccionados teniendo en cuenta la pertinencia del tema, el número de citas, el impacto del autor y de la revista.

## Exposición directa a campos magnéticos

La exposición directa a campos magnéticos es una técnica que consiste en someter a las semillas a un campo magnético antes de la imbibición, el campo puede ser generado ya sea por imanes permanentes o por electroimanes. Recientemente en el campo de la agronomía se han utilizado tratamientos magnéticos como una técnica alternativa para mejorar la germinación y aumentar el rendimiento de los cultivos (Martínez *et al.*, 2009; Carbonell *et al.*, 2017). Algunos investigadores consideran que el uso de campos magnéticos pueden mejorar las propiedades del suelo y el crecimiento y desarrollo de las plantas puede llegar a tener gran importancia práctica (Hilal *et al.*, 2013). Entre los efectos positivos de los tratamientos magnéticos se encuentran: i) la estimulación de procesos fisiológicos y bioquímicos de las semillas (Martínez *et al.*, 2017; Kornarzyński *et al.*, 2018; Radhakrishnan, 2018) y el crecimiento de las plantas (Pietruszewski y Martínez, 2015), ii) la protección contra factores de estrés abiótico (Hozayn *et al.*, 2015; Rajendra Prasad *et al.*, 2016; Baghel *et al.*, 2018).

## Estimulación de la germinación y el crecimiento

Aunque no se entiende completamente los procesos físicos o los mecanismos de la interacción del campo magnético con los sistemas biológicos, existe la posibilidad que sean resultado de procesos como: reorientación de moléculas con propiedades paramagnéticas en dirección del campo magnético, el modelo de resonancia ciclotrón, estados metaestables de agua biológicamente activos, o interferencia de estados cuánticos de iones y electrones (Belyavskaya, 2004; Majd *et al.*, 2009; Torres-Osorio *et al.*, 2015). Se

sabe que el campo magnético puede actuar como bioestimulante de la germinación y el crecimiento de diferentes especies de plantas cultivadas (Guruprasad *et al.*, 2016). Por ejemplo, en maíz (*Zea mays*) el tratamiento presiembra de las semillas con un campo electromagnético pulsado (CEP) 3 Hz. durante 0 min, 15 min, 30 min y 45 min mejoró el porcentaje de germinación, vigor, contenido de clorofila, área de la hoja, masa fresca, masa seca y rendimiento de las plantas (Bilalis *et al.*, 2012). Aguilar *et al.* (2009) estudiaron el efecto de la exposición de semillas de maíz a un campo magnético estacionario (CME) de intensidad 100 mT, los resultados de la investigación mostraron un incremento en el porcentaje de germinación de las semillas y aumento de la masa seca de las plántulas. Resultados similares encontraron Shine *et al.* (2017), Vashisth y Devendra (2017) para experimentos en los que las semillas de maíz fueron expuestas a CME de 100 mT y 200 mT.

Los efectos bioestimulantes del campo magnético también se han encontrado otros cereales como en arroz (*Oryza sativa*). En los ensayos realizados las semillas expuestas a CME de 150 mT y 250 mT durante 1 min, 10 min, 20 min, 60 min, 24 h, o permanente, muestran incrementos en la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas al igual que aumentos en tamaño y masa de las plantas (Carbonell *et al.*, 2000). En el caso del trigo (*Triticum aestivum*), los resultados de múltiples ensayos indican que la exposición previa de las semillas al CME resulta en el incremento en el porcentaje y velocidad de germinación (Pietruszewski y Kania, 2010; Martínez *et al.*, 2017; Massah *et al.*, 2019). Para cebada (*Hordeum vulgare*) Martínez *et al.* (2000) informaron del efecto estimulante de un CME en las etapas iniciales del desarrollo de la planta, en los experimentos las semillas ya germinadas eran expuestas a un campo magnético de 125 mT durante 1 min, 10 min, 20 min, 60 min, 24 h, o permanente; al finalizar el experimento observaron mayor altura y masa de las plantas tratadas con CME siendo los efectos más drásticos en las plantas con los tiempos de exposición más extensos.

Otra especie económicamente importante para la cual se describe el efecto bioestimulante del tratamiento con campos eléctricos y magnéticos es el tomate (*Solanum lycopersicum*) (Moon y Chung, 2000). Por ejemplo, De Souza *et al.* (2006) expusieron semillas de tomate a campos magnéticos variables (CMV) de 100 mT y 170 mT, en sus resultados los investigadores informan de mayores valores para área foliar, tasa relativa de crecimiento y rendimiento en las plantas

provenientes de semillas tratadas. En otro ensayo, cuando las semillas fueron sometidas a CMV de 80 mT, 120 mT, 160 mT y 200 mT se encontraron incrementos en la velocidad de germinación, índice de emergencia, porcentaje de emergencia, altura y masa seca de las plántulas (De Souza *et al.*, 2010). En otros experimentos con tomate, Efthimiadou *et al.* (2014) informan que el uso de CMP de 12,5 mT mejoró el crecimiento y rendimiento de las plantas. Los campos magnéticos débiles (CMD) también parecen ejercer un efecto positivo en estas plantas. Nimmi (2009) expuso semillas a un CMD de 62  $\mu$ T y como resultado obtuvo un incremento significativo en la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas.

Otro grupo de plantas cultivadas en el que se han realizado estudios sobre el efecto campo magnético es el de las leguminosas. Cakmak *et al.* (2009) encontraron que las semillas frijol (*Phaseolus vulgaris*) sometidas a CME de 4 mT y 7 mT presentaron porcentajes de germinación y tasa de crecimiento mayores que las semillas no tratadas. En frijol de mungo (*Phaseolus aureus*) el tratamiento de las semillas con CME de 600 mT causó mayor altura, masa fresca, peso seco, concentración de proteína, azúcar soluble, vitamina C, antocianina y aminoácidos (Chen *et al.*, 2012). Carbonell *et al.* (2011) expusieron semillas de arveja (*Pisum sativum*), a un CME de intensidades 125 mT y 250 mT y encontraron que las plantas provenientes de semillas tratadas fueron más altas y pesadas que aquellas provenientes de plantas no tratadas. Otra especie leguminosa en la que se ha estudiado el efecto de los tratamientos magnéticos en las etapas iniciales de crecimiento es la soya (*Glycine max*), en un experimento en el cual se trataron las semillas con un CEP de intensidad 1 500 nT a 10,0 Hz por cinco horas diarias durante 20 días, los investigadores encontraron como resultado mayor altura, masa fresca, peso y contenido de proteínas en las plantas provenientes de semillas tratadas (Radhakrishnan *et al.*, 2012). En otro ensayo, Shine *et al.* (2011) expusieron semillas de soya a campos magnéticos de 0 mT a 300 mT, en los resultados los investigadores describen un aumento en el índice de vigor y velocidad de germinación, así como incrementos en altura, masa fresca y masa seca de las plantas. De manera similar Vashisth y Nagarajan (2008), expusieron semillas de garbanzo (*Cicer arietinum*) a CME de 50 mT, 100 mT, 150 mT, 200 mT y 250 mT, sus resultados muestran que el tratamiento magnético tuvo como resultado el incrementó en la velocidad de germinación de las semillas, así como en la altura y el masa seca de las plántulas. Los efectos estimulantes de los tratamientos magnéticos presiembra también se

registran para especies de cucurbitáceas. Por ejemplo, los resultados de un ensayo con melón (*Cucumis melo*) mostraron que cuando las semillas eran expuestas a un CME de 100 mT y 200 mT durante 5-20 min se mejoraba el porcentaje de germinación de semillas, aumentaba la longitud de las raíces, el número de brotes, el índice de vigor, masa fresca, masa seca, área foliar, y la actividad enzimática (Iqbal *et al.*, 2016a). Yao *et al.* (2005) informan del efecto estimulante del tratamiento magnético presiembra en semillas de pepino (*Cucumis sativus*) expuestas a un campo magnético estático de 200 mT y 450 mT. Ensayos en calabaza amarga (*Momordica charantia*) en los que las semillas se expusieron a un campo magnético variable de 25 mT, 50 mT y 75 mT dieron como resultado una mejora en los índices de vigor y emergencia, la disminución en el tiempo medio de germinación, y los incrementos en la tasa de crecimiento, área foliar, masa fresca, masa seca, altura y longitud de raíz (Iqbal *et al.*, 2016b).

Otras especies cultivadas en las que se han investigado los efectos del campo magnético son el girasol (*Helianthus annuus*) y el comino (*Cuminum cyminum*). En el caso del girasol Vashisth y Nagarajan (2010) expusieron semillas a CME de 50 mT, 100 mT, 150 mT, 200 mT y 250 mT, sus resultados mostraron que los tratamientos magnéticos aumentaron la velocidad de germinación, altura y masa seca de las plántulas. Razmjoo y Alinian (2017) evaluaron el efecto de CME de 0 mT, 150 mT, 250 mT, 500 mT y 1,0 T en semillas de comino, ellos encontraron que todos los tratamientos mejoraban los parámetros de germinación y crecimiento de las plántulas, contenido de aceites esenciales y el rendimiento de aceite en comparación con el control. Konefat-Janocha *et al.* (2018) mostraron que la exposición de semillas de rábano (*Raphanus sativus*) a CME de 8 mT y 20 mT y CMV de 6 mT y 50 Hz aumentaban tanto la tasa de germinación como el índice de vigor de éstas. Especies frutales también han sido sometidas a experimentación campos magnéticos, por ejemplo, en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) el tratamiento pregerminativo con un CMP de 5 mT 32 Hz resultó en el incremento en el porcentaje de germinación (Izmailov *et al.*, 2018).

Aunque aún no están esclarecidos los mecanismos por los cuales se generan los efectos positivos del CM en la germinación de las semillas anteriormente descritos, se propone que dichos efectos serían el resultado de: i) variaciones en la entalpía de adsorción del agua y de cambios en mecanismo de incorporación de moléculas de vapor de agua a la estructura de la cubierta seminal

(Torres *et al.*, 2018); ii) el aumento en la permeabilidad de la membrana celular con lo que el transporte de iones se aceleraría, aumentaría la concentración de elementos minerales y todo esto resultaría en la estimulación del desarrollo de la semilla (Izmailov *et al.*, 2018); iii) la estimulación de la actividad enzimática con la consecuente aceleración del metabolismo celular lo que provocaría el aumento en la velocidad germinación de las semillas (Pietruszewski y Martínez, 2015).

### Protección contra el estrés abiótico

El estrés abiótico se define como el impacto negativo que ejerce un factor abiótico en la tasa de crecimiento y reproducción de un organismo (Vinebrooke *et al.*, 2004), el estrés abiótico es considerado como uno de los principales factores limitantes de la productividad agrícola mundial (Fahad *et al.*, 2017). Los resultados de las investigaciones sobre el efecto del campo magnético en las plantas, muestran que además de la estimulación del crecimiento, el estrés también puede inducir un aumento en la tolerancia a los efectos negativos generados por el estrés abiótico (Rathod y Anand, 2016). Por ejemplo, Thomas *et al.* (2013) evaluaron el efecto del campo magnético en la germinación de semillas de garbanzo en condiciones de salinidad, los investigadores expusieron las semillas a un CME de 100 mT y encontraron que las semillas tratadas tenían un mayor porcentaje de germinación y generaban plántulas más altas y con raíces más largas que las no tratadas. De igual forma, Baghel *et al.* (2016) evaluaron la efectividad del tratamiento magnético presiembra en la disminución de los efectos negativos de la salinidad en el crecimiento de las plántulas de soja, en dicho ensayo las semillas fueron expuestas a un CME de 200 mT y crecidas a diferentes niveles de salinidad (0 mM, 25 mM y 50 mM de NaCl). Los resultados indicaron que el tratamiento magnético causó una mejora significativa en el crecimiento de las plantas sometidas a condiciones salinas; resultados similares fueron registrados por Kataria *et al.* (2017a); Kataria *et al.* (2019) en experimentos en campo para semillas de maíz y soja previamente expuestas a CME de 200 mT y sometidas a condiciones salinas (0 mM - 100 mM NaCl). De manera similar, Karimi *et al.* (2017) y Baghel *et al.* (2019) encontraron que el tratamiento de las semillas de maíz con CME de 150 mT y 200 mT aumentaba el porcentaje de germinación, crecimiento, rendimiento y actividad fotosintética de las plantas aún si estas crecían sometidas a estrés salino (0 mM, 25 mM, 50 mM, 75 mM y 100 mM NaCl). Rathod y Anand (2016) expusieron semillas de trigo a un CME de 50 mT durante dos horas, después se sembraron y se

mantuvieron bajo condiciones de salinidad (NaCl 150 mM) desde la etapa de plántula hasta la madurez, como resultado, encontraron que el tratamiento magnético causó una disminución del efecto nocivo de la salinidad en parámetros de crecimiento como altura, área foliar y masa seca en comparación con el control. Radhakrishnan y Kumari (2013) investigaron los efectos del campo magnético pulsado (CMP) en la regeneración de plantas de soja a partir de explantes cotiledonares en condiciones de estrés salino; en dicho ensayo los explantes cotiledonares de semillas que fueron previamente expuestas a CMP de 0,1 Hz, 1,0 Hz, 10,0 Hz y 100,0 Hz se cultivaron en medios que contenían diferentes concentraciones de NaCl (0 mM, 10 mM, 20 mM, 30 mM y 40 mM), los resultados mostraron que los explantes cotiledonares de las semillas expuestas de CMP y cultivadas en medio salino, presentaban una mayor frecuencia de brotes y regeneración de raíces en comparación con los explantes de semillas no expuestos a CMP, así el tratamiento previo con CMP concedió cierta tolerancia a las condiciones de estrés salino.

La sequía es el factor ambiental que más limita la productividad de los cultivos al afectar tanto a la calidad como el rendimiento de estos (Alexieva *et al.*, 2001; Barnabás *et al.*, 2007). Los resultados de diversas investigaciones indican que el campo magnético puede conferir protección contra los efectos adversos del estrés por sequía. Por ejemplo, Baghel *et al.* (2018) expusieron semillas de soja a un CME de 200 mT durante una hora y cultivaron las plantas en condiciones de buen riego y de estrés hídrico. Los resultados mostraron que el tratamiento previo con CME disminuyó el efecto negativo de la sequía en crecimiento de las plantas. En otro ensayo los investigadores expusieron semillas de maíz a un CME de 100 mT y 200 mT durante una y dos horas respectivamente y las cultivaron en macetas bajo diferentes regímenes de sequía, los resultados mostraron que la exposición al CME mejoró significativamente todos los parámetros de crecimiento en comparación con las plántulas de control (Anand *et al.*, 2012). De manera similar, Javed *et al.* (2011) evaluaron el efecto del tratamiento pregerminativo en maíz exponiendo las semillas a CME de 0 mT, 100 mT, 150 mT durante 5 min o 10 minutos y sometiéndolas a sequía, como resultado, encontraron que los diferentes tratamientos magnéticos disminuyeron de forma significativa los efectos adversos de la sequía en el crecimiento de las plantas.

Mridha *et al.* (2016) expusieron semillas de garbanzo a CME de 100 mT durante una hora y las sometieron a

condiciones de estrés hídrico, y encontraron que las plántulas provenientes de semillas tratadas tuvieron una mayor eficiencia en el uso del agua, biomasa y eficiencia de uso de la radiación (EUR) que las plantas del control. Como resultado de su investigación en plantas de tomate, Selim y El-Nady (2011) encontraron que los tratamientos magnéticos mejoraban el crecimiento, las relaciones hídricas y la eficiencia en el uso del agua de las plantas sometidas a estrés hídrico.

La radiación ultravioleta es considerada como un factor de estrés para las plantas (Ballaré *et al.*, 2011). Para determinar el potencial del tratamiento magnético como estrategia para disminuir los efectos del estrés por radiación solar ultra violeta (UV), Kataria *et al.* (2017b) expusieron semillas de soja un CME de 200 mT durante una hora, después fueron sometidas a tratamiento de exclusión de la radiación UV (280-400 nm). Los resultados del ensayo mostraron que el tratamiento pregerminativo con CME disminuyó el efecto negativo que el estrés por UV provocó en el crecimiento de las plántulas.

Las altas temperaturas son otro factor de estrés que limita el crecimiento y desarrollo de las plantas principalmente en regiones tropicales (Fahad *et al.*, 2016). En experimento en invernadero, Ružič y Jerman (2002) estudiaron los efectos de un CMD de 100  $\mu$ T sobre el crecimiento de plántulas de berro (*Lepidium sativum*) que también estuvieron expuestas a condiciones de estrés por calor a 40 °C, 42 °C y 45 °C durante 40 min, el campo magnético se aplicó durante 12 horas antes o después del tratamiento de estrés. Los resultados del experimento mostraron que la exposición al campo magnético disminuía los efectos nocivos del estrés.

Tampoco son claros los mecanismos por los cuales el tratamiento magnético conferiría protección contra los efectos nocivos del estrés abiótico. Por ejemplo, en el caso del estrés salino se propone que dicho efecto benéfico sería resultado de la disminución en la proporción de los iones  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en las semillas tratadas, esto podría aumentar la captación de otros iones y así evitar la reducción en el crecimiento de las plántulas (Rathod y Anand, 2016). En el caso del estrés por radiación UV se propone que el tratamiento magnético conferiría a la planta la capacidad de reducir el nivel de EROs en las hojas en presencia de radiación UV, de esta forma se mejoraría la eficiencia del fotosistema II y aumentaría la tasa fotosintética (Kataria *et al.*, 2017b).

Efectos de tratamientos con agua tratada magnéticamente (ATM) se denomina ATM al agua que se ha sido expuesta a un campo magnético (Krishnaraj

*et al.*, 2017). Cuando se aplica un campo magnético al agua se producen varios efectos fisicoquímicos y moleculares en ésta, por ejemplo: se producen cambios en los puntos de solidificación y de ebullición, cambios en la tensión superficial, viscosidad, tasa de evaporación, constante dieléctrica e índice de refracción; también hay efectos en la formación de estructuras de agrupamiento a partir de cadenas de moléculas lineales y anulares enlazadas con hidrógeno (Teixeira da Silva y Dobránszki 2014). Estos efectos son indiferentes a la naturaleza diamagnética del agua y están subordinados en cierta medida a los iones disueltos en ella (Zúñiga *et al.*, 2016). Por otra parte, los efectos biológicos del tratamiento con ATM dependen de la intensidad y el tiempo de exposición del agua al campo magnético durante el procedimiento, también dependen del contenido de iones, calidad, volumen, velocidad del flujo y temperatura del agua (Pang y Deng, 2008).

Los reportes del efecto positivo del tratamiento con ATM en el crecimiento y desarrollo de plantas cultivadas son variados, incluso, existen autores que la consideran una tecnología prometedora para mejorar la producción agrícola (Yusuf *et al.*, 2016). Por ejemplo, Maheshwari y Grewal (2009) informaron del efecto beneficioso del riego con ATM (3,5 mT a 136 mT) en el rendimiento y la productividad de arveja (*Pisum sativum* var. *Saccharatum*) y apio (*Apium graveolens* var. Dulce) bajo condiciones de invernadero. Hozayn y Qados (2010a) irrigaron semillas de garbanzo con agua potable que previamente se había hecho pasar a través de un generador magnético (U050 mg, 0,5 pulgadas, salida 4-6 m<sup>3</sup>/h, 30 mT), los resultados mostraron que las plántulas provenientes de las semillas tratadas presentaban mayor crecimiento y rendimiento que las no tratadas.

Mahmood y Usman (2014) evaluaron el efecto del tratamiento con ATM en maíz, en dicho experimento se trataron magnéticamente diferentes tipos de agua (potable, salina y residual) en un campo de 235 mT a una velocidad de flujo de 3 L min<sup>-1</sup>; los resultados indicaron que el ATM aumentó los porcentajes de germinación e índice de emergencia, también la altura y la masa seca de las plántulas.

Haq *et al.* (2016) realizaron un ensayo en el cual trataron semillas de nabo (*Brassica rapa*) con ATM (211 mT), como resultado informaron de un mayor porcentaje de germinación, altura, masa fresca y masa seca en las plántulas tratadas también encontraron que dichas plantas poseían mayores contenidos de clorofila y proteínas. Al realizar experimentos con ATM en palma

de aceite (*Elaeis guineensis*) Sudsiri *et al.* (2016) encontraron que la inmersión de las semillas en agua tratada magnéticamente (9,0 mT) estimulaba la imbibición del agua y la germinación.

Moussa (2011) investigó el efecto del riego con ATM (30 mT) en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y encontró que mediante el riego con ATM se podía incrementar de manera significativa el crecimiento, la actividad fotosintética y la eficiencia de translocación de fotoasimilados en dichas plantas. Igualmente, Azimi *et al.* (2018) evaluaron el efecto del ATM (110 mT) en la actividad antioxidante y otros parámetros fisiológicos en lenteja (*Lens culinaris*), los resultados mostraron aumentos en el número de semillas por legumbre, masa fresca y seco de plantas y semillas, así como el aumento en el contenido de proteínas en semillas y hojas. El efecto positivo del riego con ATM también fue descrito por Ibrahim y Bassem (2013) para un experimento con plantas de haba (*Vicia faba*) encontrando como resultado, mayor altura y peso de las plantas tratadas que en las del control.

El riego con ATM también puede aumentar el rendimiento y la calidad de cultivos como maíz, remolacha azucarera, Berenjenas, habas y tomate (Aladjadiyan, 2002; Hozayn *et al.*, 2013; Nessrien, 2018). Ensayos en condiciones de campo en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) irrigados con agua normal y ATM (110 mT), revelaron que la irrigación con ATM generó un aumento en el crecimiento, la concentración de pigmentos fotosintéticos, los carbohidratos totales y las proteínas totales (Babaloo *et al.*, 2018). Amor *et al.* (2018) realizaron un ensayo bajo condiciones de campo en un cultivo de papa, los resultados mostraron que el riego con agua magnetizada resultó en el aumento en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

El mecanismo por el cual el ATM los efectos positivos anteriormente mencionados se podrían explicar como resultado de los cambios de las propiedades físicas y químicas del agua, las cuales serían capaces de afectar el crecimiento de las plantas. Adicionalmente, se plantea que el ATM puede actuar a nivel de la síntesis de hormonas vegetales como las giberelinas (GA3), auxinas, y citoquinas las cuales están implicadas en eventos que causan la mitosis (Hozayn y Qados, 2010 b). Otro posible mecanismo sería un el efecto estimulador del ATM en los contenidos de ácidos nucleicos (ADN y ARN) (Moussa, 2011).

Similar a lo que ocurre con la exposición directa al campo magnético, también hay registros de que el tratamiento con ATM puede inducir un aumento en la tolerancia a los efectos negativos generados por el

estrés abiótico (Aghamir *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2019). Por ejemplo, en un ensayo realizado con plantas de tomate cultivadas bajo diferentes niveles de déficit hídrico (100 %, 80 %, 60 %, 50 % y 40 %) y regadas con ATM (71,9 mT), se encontró que las plantas irrigadas con ATM presentaban mayor resistencia al estrés hídrico y al ataque de hongos que las plantas no tratadas (Yusuf *et al.*, 2016). De manera similar, Hasan *et al.* (2018) investigaron el efecto del ATM (30 mT) en dos especies de la planta medicinal Moringa (*Moringa oleifera*) y (*Moringa peregrina*) sometidas a tres condiciones de riego: 100 % de la capacidad de campo (control), 50 % de la capacidad de campo (sequía media) y 20 % de la capacidad de campo (sequía severa), los resultados del ensayo indicaron que el ATM ayudó a las plantas a ser más tolerantes al estrés por sequía al mejorar la capacidad antioxidante de las mismas. También hay estudios del efecto del ATM en relación con el estrés salino, Amer (2014) estudió el efecto del tratamiento con agua magnetizada en la productividad de la soja bajo condiciones de salinidad. Los resultados arrojaron que el tratamiento no solo estimuló el crecimiento de las plantas, sino que también aumentó la tolerancia de las plantas al estrés salino.

### Conclusiones

El efecto del campo magnético en plantas ha sido investigado mediante la exposición directa o el riego con agua tratada magnéticamente, en ambos casos los resultados revelan efectos beneficiosos. Al resumir los resultados de la investigación de los efectos del tratamiento con CM en plantas cultivadas, se puede observar que en general la aplicación del CM aumenta la velocidad de germinación y mejora el vigor de las semillas, también mejora el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como el rendimiento; en algunos casos el tratamiento magnético resulta en incrementos en la concentración de proteínas y el contenido de aceites esenciales. Adicionalmente, se ha encontrado que el tratamiento magnético de las semillas puede aliviar los efectos negativos causados por algunos tipos de estrés abiótico como: estrés hídrico, estrés salino, estrés por altas temperaturas y estrés por radiación UV. Igualmente, el tratamiento con ATM tiene un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas, y puede también inducir un aumento en la tolerancia a los efectos negativos generados por el estrés abiótico. A pesar de la abundante evidencia expuesta sobre los efectos positivos del CM en las plantas, aún no se han esclarecidos los mecanismos por los cuales se generan dichos efectos positivos, es por esto, que son necesarias más investigaciones en el tema

para lograr comprender dichos mecanismos. Finalmente, los resultados de las investigaciones aquí relacionadas apuntan a que los diferentes tipos de tratamiento con campos magnéticos podrían ser implementados como estrategia para mejorar el crecimiento y rendimiento de algunos cultivos, además de brindar cierto nivel de protección contra los efectos nocivos de algunos factores de estrés abiótico, aunque para ello se requiere de investigación exhaustiva en los diferentes cultivos.

### Agradecimientos

El autor desea expresar sus agradecimientos al Programa de Agronomía de la Universidad del Pacífico por su continuo apoyo.

### Referencias

- Aghamir, F., Bahrami, H., Eshghi, S., Bahrami, H., Malakouti, M.J. y Sharifi, F. 2016. Seed germination and seedling growth of bean (*Phaseolus vulgaris*) as influenced by magnetized saline water. *Eurasian Journal of Soil Science* 5(1): 39–46. Doi: <https://doi.org/10.18393/ejss.2016.1.039-046>.
- Aguilar, C.H., Domínguez-Pacheco, A., Carballo-Carballo, A., Cruz-Orea, A., Ivanov, R., López-Bonilla, J.L. y Valcarcel, J.P. 2009. Alternating magnetic field irradiation effects on three genotype maize seed field performance. *Acta Agrophysica* 14(1):7–17.
- Aladjadjiyan, A. 2002. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*. *Journal of Central European Agriculture* 3(2): 90–94.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. y Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment* 24(12): 1337–1344. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- Amer, M. 2014. Effects of magnetized low quality irrigation water on some soil properties and soybean yield (*Glycine max* L.) under salt affected soils conditions. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering* 5(10): 1388–2014. Doi: <https://doi.org/10.21608/jssae.2014.49755>.
- Amor, H., Elaoud, A., Elmoueddeb, K. y Hussain, Q. 2018. Influence of magnetic field on water characteristics and potato cultivation. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences* 16: 32–41.
- Anand, A., Nagarajan, S., Verma, A.P.S., Joshi, D.K., Pathak, P.C. y Bhardwaj, J. 2012. Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.). *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics* 49(1): 63–70.



- Azimi, N., Majd, A., Nejdassattari, T., Ghanati, F. y Arbabian, S. 2018. Effects of Magnetically Treated Water on Physiological Characteristics of *Lens culinaris* L. Iranian *Journal of Science and Technology, Transactions A: Science* 42(2): 331-337. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40995-016-0075-y>.
- Babaloo, F., Majd, A., Arbabian, S., Sharifnia, F. y Ghanati, F. 2018. The effect of magnetized water on some characteristics of growth and chemical constituent in rice (*Oryza sativa* L.). *Eurasian Journal of Biosciences* 12(1): 129-137.
- Baghel, L., Kataria, S. y Guruprasad, K.N. 2016. Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bioelectromagnetics* 37(7): 455-470. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.21988>.
- Baghel, L., Kataria, S. y Guruprasad, K.N. 2018. Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress. *Photosynthetica* 56(2): 718-730. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0722-3>.
- Baghel, Lokesh, Kataria, S. y Jain, M. 2019. Mitigation of adverse effects of salt stress on germination, growth, photosynthetic efficiency and yield in maize (*Zea mays* L.) through magnetopriming. *Acta Agrobotanica* 72(1): 1-16. Doi: <https://doi.org/10.5586/aa.1757>.
- Ballaré, C.L., Caldwell, M.M., Flint, S.D., Robinson, S.A. y Bornman, J.F. 2011. Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns, mechanisms, and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences* 10(2): 226-241. Doi: <https://doi.org/10.1039/c0pp90035d>.
- Barnabás, B., Jäger, K. y Fehér, A. 2007. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Environment* 31(1): 11-38. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x>.
- Belyavskaya, N.A. 2004. Biological effects due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research* 34 (7): 1566-1574. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.01.021>.
- Bilalis, D.J., Katsenios, N., Efthimiadou, A. y Karkanis, A. 2012. Pulsed electromagnetic field: an organic compatible method to promote plant growth and yield in two corn types. *Electromagnetic Biology and Medicine* 31(4): 333-343. Doi: <https://doi.org/10.3109/15368378.2012.661699>.
- Cakmak, T., Dumlupinar, R. y Erdal, S. 2009. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions. *Bioelectromagnetics* 31(2): 120-129. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.20537>.
- Carbonell, M.V., Martínez, E. y Amaya, J. M. 2000. Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. *Electro and Magnetobiology* 19(1): 121-128. Doi: <https://doi.org/10.1081/JBC-100100303>.
- Carbonell, M.V., Flórez, M., Martínez, E., Maqueda, R. y Amaya, J. M. 2011. Study of stationary magnetic fields on initial growth of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Seed Science and Technology* 39(3): 673-679. Doi: <https://doi.org/10.15258/sst.2011.39.3.15>.
- Carbonell, M.V., Florez, M., Martínez, E. y Álvarez, J. 2017. Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos. *Intropica* 12 (2): 143-159. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.2282>.
- Chen, Y.P., He, J.M. y Li, R. 2012. Effects of magnetic fields pretreatment of mungbean seeds on sprout yield and quality. *African Journal of Biotechnology* 11(36): 8932-8937. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJB11.3138>.
- Chibowski, E. y Szczeń, A. 2018. Magnetic water treatment-A review of the latest approaches. *Chemosphere* 203: 54-67. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.160>.
- De Souza, A., García, D., Sueiro, L., Gilart, F., Porras, E. y Licea, L. 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. *Bioelectromagnetics* 27(4): 247-257. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.20206>.
- De Souza, A., Sueiro, L., García, D. y Porras, E. 2010. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth. *Seed Science and Technology* 38(1): 61-72. Doi: <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.1.06>.
- Efthimiadou, A., Katsenios, N., Karkanis, A., Papastylianou, P., Triantafyllidis, V., Travlos, I. y Bilalis, D.J. 2014. Effects of presowing pulsed electromagnetic treatment of tomato seed on growth, yield, and Lycopene Content. *The Scientific World Journal* 369745: 1-6. Doi: <https://doi.org/10.1155/2014/369745>.
- Fahad, S., Hussain, S., Saud, S., Khan, F., Hassan, S., Nasim, W., Arif, M., Wang, F. y Huang, J. 2016. Exogenously Applied Plant Growth Regulators Affect Heat-Stressed Rice Pollens. *Journal of Agronomy and Crop Science* 202(2): 139-150. Doi: <https://doi.org/10.1111/jac.12148>.
- Fahad, Shah, Bajwa, A., Nazir, U., Anjum, S., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Wajid, N., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M.Z., Alharby, H., Wu, Ch. Wang, D. y Huang, J. 2017. Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science* 8 (1147): 1-16. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.26.021304.144445>.
- Feychting, M., Ahlbom, A. y Kheifets, L. 2005. EMF and health. *Annual Review of Public Health* 26(1): 165-189. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.20537>.



- Galland, P. y Pazur, A. 2005. Magnetoreception in plants. *Journal of Plant Research* 118(6): 371-389. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10265-005-0246-y>.
- Guruprasad, K.N., Shine, M. y Joshi, J. 2016. Impact of Magnetic Field on Crop Plants. In iConcept Press. Editor. *Breeding and Genetic Engineering. The Biology and Biotechnology Research*. In iConcept Press, London.
- Haq, Z. ul, Iqbal, M., Jamil, Y., Anwar, H., Younis, A., Arif, M., Zeshan Fareed, M. y Hussain, F. 2016. Magnetically treated water irrigation effect on turnip seed germination, seedling growth and enzymatic activities. *Information Processing in Agriculture* 3(2): 99-106. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.03.004>.
- Hasan, M., Alharby, H., Hajar, A., Hakeem, K., y Alzahrani, Y. 2018. Effects of magnetized water on phenolic compounds, lipid peroxidation and antioxidant activity of Moringa species under drought stress. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 28(3): 803-810. Doi: <https://doi.org/10.15244/pjoes/85879>.
- Hilal, M.H., El-Fakharaniy, Y.M., Mabrouk, S.S., Mohamed A.I. y Ebead, B.M. 2013. Effect of magnetic treated irrigation water on salt removal from a sandy soil and on the availability of certain nutrients. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 2(2): 36-44.
- Hozayn, M. y Qados, A.M.S.A. 2010a. Irrigation with magnetized water enhances growth, chemical constituent and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(4): 671-676.
- Hozayn, M. y Qados, A.M.S.A. 2010b. Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1(4): 677-682.
- Hozayn, M., El Monem, A. A. A., Abdelraouf, R.E. y Abdalla, M.M. 2013. Do Magnetic Water Affect Water Use Efficiency, Quality and Yield of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Plant under Arid Regions Conditions?. *Journal of Agronomy* 12(1): 1-10. Doi: <https://doi.org/10.3923/ja.2013.1.10>.
- Hozayn, M., EL-Mahdy, A.A.A. y Abdel-Rahman, H.M. 2015. Effect of magnetic field on germination, seedling growth and cytogenetic of onion (*Allium cepa* L.). *African Journal of Agricultural Research* 10(8): 849-857. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9383>.
- Ibrahim, A. y Bassem, M. 2013. Effect of irrigation with magnetically treated water on faba bean growth and composition. *International Journal of Agricultural Policy and Research* 1(2): 24-40.
- Iqbal, M., ul Haq, Z., Malik, A., Ayoub, C. M., Jamil, Y., y Nisar, J. 2016a. 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: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.12.002>.
- Iqbal, M., Haq, Z., Jamil, Y. y Nisar, J. 2016b. Pre-sowing seed magnetic field treatment influence on germination, seedling growth and enzymatic activities of melon (*Cucumis melo* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 6: 176-183. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.04.001>.
- Izmailov, A., Smirnov, I., Khort, D., Filippov, R. y Kutyrev, A. 2018. Magnetic-pulse processing of seeds of berry crops. *Research in Agricultural Engineering* 64(4): 181-186. Doi: <https://doi.org/10.17221/9/2018-RAE>.
- Javed, N., Ashraf, M., Akram, N.A. y Al-Qurainy, F. 2011. Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and some potential physiological attributes in maize (*Zea mays* L.) by seed electromagnetic treatment. *Photochemistry and Photobiology* 87(6): 1354-1362. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2011.00990.x>.
- Karimi, S., Eshghi, S., Karimi, S. y Hasan-Nezhadian, S. 2017. Inducing salt tolerance in sweet corn by magnetic priming. *Acta Agriculturae Slovenica* 109(1): 89. Doi: <https://doi.org/10.14720/aas.2017.109.1.09>.
- Kataria, S., Baghel, L. y Guruprasad, K.N. 2017 a. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 10: 83-90. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.010>.
- Kataria, S., Baghel, L. y Guruprasad, K.N. 2017 b. Alleviation of adverse effects of ambient UV stress on growth and some potential physiological attributes in soybean (*Glycine max*) by seed pre-treatment with static magnetic field. *Journal of Plant Growth Regulation* 36(3): 550-565. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00344-016-9657-3>.
- Kataria, S., Baghel, L., Jain, M. y Guruprasad, K.N. 2019. Magnetopriming regulates antioxidant defense system in soybean against salt stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 18: 101090. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101090>.
- Konefał-Janocha, M., Banaś-Ząbczyk, A., Bester, M., Bocak, D., Budzik, S., Górny, S. y Cholewa, M. 2018. The effect of stationary and variable electromagnetic fields on the germination and early growth of radish (*Raphanus sativus*). *Polish Journal of Environmental Studies* 28(2): 709-715. Doi: <https://doi.org/10.15244/pjoes/84920>.
- Kornarzyński, K., Dziwulska-Hunek, A., Kornarzyńska-Gregorowicz, A. y Sujak, A. 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. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32305-5>.
- Krishnaraj, C., Yun, S.I. y Kumar, A. 2017. Effect of magnetized water (Biotron) on Seed Germination of Amaranthaceae family. *Journal of Academia and Industrial Research* 5(10): 152-156.
- Liu, X., Zhu, H., Meng, S., Bi, S., Zhang, Y., Wang, H. y Ma, F. 2019. The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of *Populus x euramericana* 'Neva' under NaCl stress. *Acta Physiologiae Plantarum* 41(1): 11. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2798-1>.
- Maheshwari, B.L., y Grewal, H.S. 2009. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management* 96(8): 1229-1236. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>.
- Mahmood, S. y Usman, M. 2014. Consequences of magnetized water application on maize seed emergence in sand culture. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)* 16(1): 47-55.
- Majd, A., Shabrangı, A., Bahar, M. y Abdı, S. 2009. Effect of AC and DC magnetic fields on seed germination and early vegetative growth in *Brassica napus* L. *Progress In Electromagnetics Research* 18(710-714): 18-21.
- Martínez, E., Carbonell M.V, Flórez, M. y Maqueda, R. 2009. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. *International Agrophysics* 23: 45-49.
- Martínez, E., Flórez, M. y Carbonell, M.V. 2017. Stimulatory effect of the magnetic treatment on the germination of cereal seeds. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 2(1): 375-381. Doi: <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.147>.
- Massah, J., Dousti, A., Khazaei, J. y Vaezzadeh, M. 2019. Effects of water magnetic treatment on seed germination and seedling growth of wheat. *Journal of Plant Nutrition* 42 (11-12): 1-7. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617309>.
- Moon, J.D. y Chung, H.S. 2000. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *Journal of Electrostatics* 48: 103- 114. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0304-3886\(99\)00054-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3886(99)00054-6).
- Monriwat, P. y Limpanuparb, T. 2016. Exposure of plants to static electromagnetic fields: the early growth of basil and waxy corn. *Suranaree Journal of Science & Technology* 23(3): 333-341.
- Moussa, H. 2011. The impact of magnetic water application for improving common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production. *New York Science Journal* 4(6): 15-20.
- Mridha, N., Chattaraj, S., Chakraborty, D., Anand, A., Aggarwal, P. y Nagarajan, S. 2016. Pre-sowing static magnetic field treatment for improving water and radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under soil moisture stress. *Bioelectromagnetics* 37(6): 400-408. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.21994>.
- Nessrien, S.A.K. 2018. Evaluation of Magnetizing Irrigation Water Impacts on the Enhancement of Yield and Water Productivity for Some Crops. *Journal of Agricultural Science and Technology A* 8(5): 274-286. Doi: <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2018.05.003>.
- Nimmi, V.M.G. 2009. Effect of pre-sowing treatment with permanent magnetic field on germination and growth of chilli (*Capsicum annum* L.). *International Agrophysics* 23(2): 195-198.
- Occhipinti, A., De Santis, A. y Maffei, M.E. 2014. Magnetoreception: an unavoidable step for plant evolution?. *Trends in Plant Science* 19(1): 1-4. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.007>.
- Pang, X. y Deng, B. 2008. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. *Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy* 51(11): 1621-1632. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11433-008-0182-7>.
- Pietruszewski, S. y Kania, K. 2010. Effect of magnetic field on germination and yield of wheat. *International Agrophysics* 24(3): 297-302.
- Pietruszewski, S. y Martínez, E. 2015. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review. *International Agrophysics* 29(3): 377-389. Doi: <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0044>.
- Radhakrishnan, R. y Kumari, B.D.R. 2013. Protective role of pulsed magnetic field against salt stress effects in soybean organ culture. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 147(1): 135-140. Doi: <https://doi.org/10.1080/11263504.2012.717543>.
- Radhakrishnan, R. 2018. Seed pretreatment with magnetic field alters the storage proteins and lipid profiles in harvested soybean seeds. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 24(2): 343-347. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0505-8>.
- Radhakrishnan, R., Kumari, R. y Bollipo, D. 2012. Pulsed magnetic field: A contemporary approach offers to enhance plant growth and yield of soybean. *Plant Physiology and Biochemistry* 51:139-144. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.10.017>.
- Rajendra Prasad, S., Kamble, U.R., Sripathy, K.V., Udaya Bhaskar, K. y Singh, D.P. 2016. Seed Bio-priming for Biotic and Abiotic Stress Management. In: Singh, D.P., Singh, H.B.,

- Prabha, R. Editor. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. Springer, New Delhi. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2647-5_12).
- Rathod, G. R. y Anand, A. 2016. Effect of seed magnetopriming on growth, yield and Na/K ratio in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Indian Journal of Plant Physiology* 21(1): 15-22. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0189-9>.
- Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C. y Foley, J.A. 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE* 8(6): e66428. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>.
- Razmjoo, J. y Alinian, S. 2017. Influence of magnetopriming on germination, growth, physiology, oil and essential contents of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Electromagnetic Biology and Medicine* 36(4): 325-329. Doi: <https://doi.org/10.1080/15368378.2017.1373661>.
- Ružič, R. y Jerman, I. 2002. Weak magnetic field decreases heat stress in cress seedlings. *Electromagnetic Biology and Medicine* 21(1): 69-80. Doi: <https://doi.org/10.1081/JBC-120003112>.
- Selim, A.F.H. y El-Nady, M.F. 2011. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. *Acta Astronautica* 69(7-8): 387-396. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.05.025>.
- Shine, M.B., Guruprasad, K.N. y Anand, A. 2011. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. *Bioelectromagnetics* 32(6): 474-484. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.20656>.
- Shine, M., Kataria, S., Guruprasad, K. y Anand, A. 2017. Enhancement of maize seeds germination by magnetopriming in perspective with reactive oxygen species. *Journal of Agricultural and Crop Research* 5(4): 66-76.
- Sudsiri, C. J., Nattawat, J., Kongchana, P. y Ritchie, R. J. 2016. Effect of magnetically treated water on germination and seedling growth of oil palm (*Elaeis guineensis*). *Seed Science and Technology* 44(2): 267-280. Doi: <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.2.08>.
- Teixeira da Silva, J.A. y Dobránszki, J. 2014. Impact of magnetic water on plant growth. *Environmental and Experimental Biology* 12(4): 137-142.
- Thomas, S., Anand, A., Chinnusamy, V., Dahuja, A. y Basu, S. 2013. Magnetopriming circumvents the effect of salinity stress on germination in chickpea seeds. *Acta Physiologiae Plantarum* 35(12): 3401-3411. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1375-x>.
- Torres, J.I., Aranzazu-Osorio Y., Jainer, E. y Carbonell, M.V. 2015. Efecto del campo magnético estático homogéneo en la germinación y absorción de agua en semillas de soja. *Tecno Lógicas* 18(35):11-20. Doi: <https://doi.org/10.22430/22565337.189>.
- Torres, J., Socorro, A. y Hincapié, E. 2018. Effect of homogeneous static magnetic treatment on the adsorption capacity in maize seeds (*Zea mays* L.). *Bioelectromagnetics* 39(5): 343-351. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.22120>.
- Vashisth, A. y Nagarajan, S. 2008. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Bioelectromagnetics* 29(7): 571-578. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.20426>.
- Vashisth, A. y Nagarajan, S. 2010. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology* 167(2): 149-156. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.08.011>.
- Vashisth, A. y Devendra, K. 2017. Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. *Bioelectromagnetics* 38(2): 151-157. Doi: <https://doi.org/10.1002/bem.22023>.
- Vinebrooke, R., Cottingham, K.L., Norberg, M., Scheffer, J., Dodson, S., Maberly, S. y Sommer, U. 2004. Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: the role of species co-tolerance. *Oikos* 104(3): 451-457. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13255.x>.
- Yao, Y., Li, Y., Yang, Y. y Li, C. 2005. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation. *Environmental and Experimental Botany* 54(3): 286-294. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.09.006>.
- Yusuf, K., Ogunlela, A. y Murtala, M. 2016. Effects of magnetically treated water on germination and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*: Variety uc82b) under poor soil fertility and deficit irrigation. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment* 8(4):30-38.
- Zúñiga, O., Benavides, J.A., Ospina-Salazar, D.I., Jiménez, C.O. y Gutiérrez, M.A. 2016. Tratamiento magnético de agua de riego y semillas en agricultura. *Ingeniería y Competitividad* 18(2): 217. Doi: <https://doi.org/10.25100/iyc.v18i2.2170>.

**Citar como:** Lasso-Rivas, N. 2019. Efectos positivos del campo magnético en plantas cultivadas. *Intropica* 14(2): 160-170. Doi: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.3066>