

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
Bruno Rodrigues de Oliveira  
(Organizadores)

# Ciência em Foco

2019

---



Pantanal Editora

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
Bruno Rodrigues de Oliveira  
(Organizadores)

# Ciência em Foco



Pantanal Editora

2019

Copyright© Pantanal Editora  
Copyright do Texto© 2019 Os Autores  
Copyright da Edição© 2019 Pantanal Editora  
**Editor Chefe:** Prof. Dr. Alan Mario Zuffo  
**Editores Executivos:** Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera

**Diagramação:** Armando Céspedes Figueredo  
**Edição de Arte:** Amando Céspedes Figueredo  
**Revisão:** Os Autores

#### Conselho Editorial

- Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Albys Ferrer Dubois – UO
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas Rodrigues Oliveira – Município de Chapadão do Sul
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFC
- Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Yilan Fung Boix - UO

#### Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior - UNEMAT
- Esp. Maurício Amormino Júnior - UFMG

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	Ciência em foco [recurso eletrônico] / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2019. 202 p.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-81460-00-6  1. Ciências agrárias – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharias – Pesquisa – Brasil. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González. III. Oliveira, Bruno Rodrigues de.  CDD 630.72
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora  
Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000  
Nova Xavantina – Mato Grosso - Brasil  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)  
[www.editorapantanal.com.br](http://www.editorapantanal.com.br)  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## **Apresentação**

O avanço da Ciência tem promovido o desenvolvimento de inúmeras tecnologias que tende a proporcionar o incremento da produção de alimentos, a melhoria da qualidade de vida da população, a preservação e sustentabilidade do planeta. Todavia, além da geração de novos conhecimentos é necessário a dispersão para o público alvo. Algo que geralmente é negligenciado por muitos autores, pois, se limitam apenas em publicar um artigo científico.

Nesse aspecto, a “Pantanal Editora” surgiu com a missão de “publicação de trabalhos de pós-doutorado, teses, dissertações, monografias, trabalhos de conclusão de curso, ensaios e artigos científicos” com o lema "Ciência com consciência". Nossos valores são construídos sob esse alicerce. Qualidade, ética, relevância acadêmica e impacto social, norteiam nossos trabalhos. Diferentemente de outras editoras, nós procuramos pesquisadores que estejam dispostos a fazerem capítulos que passaram por revisões criteriosas e não somente aplicar o binômio pagou-publicou.

Além disso, tem como visão “A ciência é vital para o desenvolvimento humano, e seu progresso somente é possível quando apoiado sobre o conhecimento científico passado. Por isso a divulgação dos trabalhos científicos é essencial para que a ciência possa alcançar a todos, transformando nossa sociedade.”

Com base nesses pilares, a “Pantanal Editora” orgulhosamente apresenta em seu primeiro livro “Ciência em Foco”, em seus 22 capítulos, avanços nas áreas de Ciências Agrárias e da Engenharia. Conhecimento estes, que irá agregar muito aos seus leitores, entre os assuntos, adubação nitrogenada na soja, diversidade genética de cultivares de mandioca, produção de mudas, magnetismo na agricultura, técnicas de avaliação do sistema radicular das plantas, percepção ambiental de alunos, análise de gestão de resíduo sólidos, conservação de estradas, sustentabilidade e responsabilidade social. Portanto, fica evidente que essas pesquisas procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

**Alan Mario Zuffo**  
**Jorge González Aguilera**  
**Bruno Rodrigues de Oliveira**

# SUMÁRIO

## *Ciências Agrárias*

<b>Capítulo 1</b> .....	6
Características agronômicas da soja em função da adubação nitrogenada associada à inoculação de <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	
<b>Capítulo 2</b> .....	14
Caracterização e diversidade genética de germoplasma de mandioca-de-mesa da região urbana de Chapadão do Sul, MS	
<b>Capítulo 3</b> .....	30
Caule decomposto de buritizeiro e doses de nitrogênio no crescimento de <i>Acacia mangium</i> Willd	
<b>Capítulo 4</b> .....	35
Determinação de atributos radiculares de culturas anuais através de amostras destrutivas e auxílio de aplicativo computacional para processamento de imagens	
<b>Capítulo 5</b> .....	52
Influencia del agua tratada magnéticamente en el contenido de clorofilas y formación de cristales de oxalato de calcio en bulbos de <i>Allium cepa</i> L.	
<b>Capítulo 6</b> .....	61
Influência de culturas de cobertura na emergência do fedegoso ( <i>Senna obtusifolia</i> )	
<b>Capítulo 7</b> .....	69
Percepção Ambiental dos alunos do 5º ano da escola Estadual Jorge Amado em Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil	
<b>Capítulo 8</b> .....	79
Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja	
<b>Capítulo 9</b> .....	91
Stimulation of physiological parameters of <i>Rosmarinus officinalis</i> L. with the use of magnetically treated water	
<b>Capítulo 10</b> .....	102
Manejo de una finca de ganado menor: desafíos del desarrollo e implementación agropecuaria en Santiago de Cuba	
<b>Capítulo 11</b> .....	120
Métodos para estudo da dinâmica de raízes	
<b>Capítulo 12</b> .....	138
Use of GREMAG® technology to improve seed germination and seedling survival	

*Engenharias*

<b>Capítulo 13</b> .....	150
Análise da gestão dos resíduos sólidos da construção civil: estratégias e estudo de caso no município de Nova Xavantina – MT	
<b>Capítulo 14</b> .....	159
Análise do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Nova Xavantina – MT	
<b>Capítulo 15</b> .....	170
Conservação e manutenção de estradas não pavimentadas: estudo técnico da Rodovia MT – 448	
<b>Capítulo 16</b> .....	186
Sustentabilidade e responsabilidade social: habitações populares de acordo com a NBR 15.575	

# Respuestas de semillas ortodoxas de especies hortícolas bajo el efecto de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja

Elizabeth Isaac Aleman<sup>1\*</sup>

Raquel Ruiz Sánchez<sup>2</sup>

Lianne Barrera Roca<sup>3</sup>

Yilan Fung Boix<sup>1</sup>

Albys Esther Ferrer Dubois<sup>1</sup>

Guillermo Asanza Kindelán<sup>1</sup>

Jorge González Aguilera<sup>4</sup>

Alan Mario Zuffo<sup>4</sup>

## INTRODUCCIÓN

Las hortalizas son una fuente fundamental de fibras, vitaminas y minerales en la alimentación humana. El aumento de la esperanza de vida, así como la disminución de los gastos en salud por parte del estado ha promovido mejoras en la calidad de la alimentación para la prevención de la salud. Factores como las dietas balanceadas, el consumo de fibra, las mejoras en la calidad de vida y los cambios en el concepto de alimentación han elevado el consumo de hortalizas, tanto frescas como procesadas, promoviendo dietas de cinco frutas o verduras diferentes al día, y aún más promoviendo que estos cinco vegetales sean de distintos colores (Saavedra, 2013).

Las especies y variedades de pepino (*Cucumis sativus* L.), berenjena (*Solanum melongena*), cebollino (*Allium schoenoprasum*), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.), constituyen en Cuba cinco de las hortalizas que se consumen en gran medida por sus propiedades nutricionales, sabor, textura y fácil cocción. El cultivo de la mayoría de estas

---

<sup>1</sup> Dirección de Ciencia e Innovación, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Ave. Las Américas s/n. Apto 4078, CP 90400, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>2</sup> Departamento de Agronomía, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>3</sup> Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>4</sup> Departamento de Agronomía, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Mato Grosso do Sul, Brasil.

\* Autor de correspondencia: elizabetha@uo.edu.cu

especies depende de la germinación de la semilla. Para la producción de estos alimentos es importante tener en cuenta la reproducción sexual como la vía más eficiente, razón por la cual la semilla ocupa un lugar crítico en la vida de las plantas superiores. La semilla provee un mecanismo de alta eficiencia para: la supervivencia durante periodos desfavorables; el crecimiento; la conservación de un abastecimiento de reserva en caso de sucesivos periodos desfavorables a la diseminación; estrés ambiental, incluyendo variaciones de temperatura, sequia, salinidad, competencia con su propia especie y otras especies por espacio, humedad y luz; predación por pájaros y otros animales; enfermedades que le afectan, como hongos, bacterias y otros organismos (Saavedra, 2013).

Las semillas de distintas especies de hortalizas en comparación con otras especies de plantas tienden por lo general a poseer un elevado poder de germinación, viabilidad y vigor, pero dichos indicadores pueden mantenerse o no dependiendo de diversos factores. De acuerdo a su tolerancia a la deshidratación y almacenamiento, las semillas pueden ser ortodoxas o recalcitrantes (Berjak et al., 2010). Dependiendo del tipo de semilla, es necesario establecer diferentes tratamientos para conseguir que las semillas germinen en condiciones ideales. El uso de productos químicos y el uso de agentes físicos representa una alternativa para elevar los porcentajes de germinación y el rendimiento agrícola de la producción, mejorando además la protección de las plantas y su almacenamiento (Araújo et al., 2016).

Entre los agentes físicos, el electromagnetismo actúa sobre el material y los organismos biológicos, ejerciendo un efecto sobre cada etapa de desarrollo de la germinación y por ello puede ser una técnica para mejorar la calidad de la semilla (Arenas et al., 2015).

En los últimos años, las investigaciones enfocadas a determinar el efecto de los campos magnéticos sobre diferentes semillas han ido en aumento. El objetivo de estas investigaciones se ha centrado en identificar las mejores respuestas asociadas a las características de los campos magnéticos como son la intensidad (magnitud del campo), frecuencia (número de ciclos por unidad de tiempo) y el tiempo de estimulación necesarias para mejorar el desarrollo y rendimiento de plantas, sin dejar atrás su influencia en la germinación y el crecimiento de especies de interés agronómico y forestal (Carbonell et al., 2011).

El efecto que generan los campos magnéticos sobre las respuestas físicas en los organismos biológicos y las variaciones en su composición química, son temas que ya se han estudiado desde hace varias décadas. Un área específica de este tema de estudio, es el análisis de la respuesta respecto a la variación de características morfológicas o mayor producción de las plantas. Actualmente ensayos en la etapa de germinación son llevados a cabo en laboratorios, sometiendo semillas de varias especies a un campo magnético con características físicas



definidas, arrojando un aumento en los rangos de germinación (Hincapié et al., 2010). Pero existen escasas referencias respecto a experimentos sobre semillas de hortalizas del tipo ortodoxas, para mejorar su respuesta a la germinación.

Así, aprovechando el electromagnetismo como agente físico, el objetivo del presente trabajo es evaluar los efectos de diferentes inducciones de un campo magnético de 60 Hz de frecuencia en la germinación de semillas ortodoxas de especies hortícolas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Material vegetal y diseño experimental**

La investigación se realizó en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), ubicado en Avenida de las Américas s/n, Santiago de Cuba, Cuba. El experimento tuvo lugar en el Laboratorio de Biotecnología Vegetal. Se utilizaron semillas de cinco especies de hortalizas, pepino (*Cucumis sativus* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.), cebollino (*Allium schoenoprasum* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.), suministradas por el Laboratorio Provincial de Semillas perteneciente a la Delegación Provincial de la Agricultura ubicado en Km 10 de la Carretera Central, lo que garantizó su buen estado fitosanitario.

La germinación de las semillas se realizó bajo condiciones controladas en el laboratorio con una temperatura constante de  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa de  $83\% \pm 3\%$  y la iluminación con artificial blanca de  $56 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . En el diseño experimental fue factorial  $2 \times 6$ , con delineamiento completamente aleatorizado. Por la diversidad de especies estas no fueron consideradas como fuentes de variación, realizándose el ANOVA individual dentro de cada especie. Los factores considerados fueron imbibición [semillas sin imbibición (SSI) y con imbibición (SCI)] e inducciones magnéticas (0, 2, 4, 6, 80 y 90 mT) con tres repeticiones por tratamiento.

Se seleccionaron 600 semillas por especie, las que se distribuyeron a 100 semillas para cada tratamiento según las normas establecidas por la Asociación Internacional para Pruebas de Semillas, de las siglas en inglés (INTA).

Para lograr la imbibición de las semillas, se sumergieron durante 48 horas en 50 mL de agua destilada, antes del recibir el tratamiento electromagnético. El segundo grupo experimental se estableció a partir de semillas secas sometidas directamente al tratamiento electromagnético. Posterior al tratamiento electromagnético las semillas se colocaron en algodón humedecido con 40 ml de agua destilada estéril, distribuidas en tres placas de Petri (10,5 x 1,7cm) por tratamiento, para ser evaluado todo el proceso germinativo de las cinco especies analizadas.

## Estimulación magnética de las semillas.

La estimulación electromagnética de las semillas se realizó con el empleo de dos dispositivos electromagnéticos. El primer dispositivo empleado fue el Estimulador electromagnético para cultivos in vitro BioNak - 03, diseñado, construido y patentado por el CNEA (Patente CU22602 A1- Domínguez et al., 1999), con bobinas conectadas en paralelo, onda sinusoidal y frecuencia de 60 Hz, con posibilidad de generar campos de 20, 40 y 60 mT. El segundo dispositivo utilizado fueron dos bobinas electromagnéticas de rangos de inducción de 0.80 y 0.90 T. Ambos dispositivos caracterizados con un gaussímetro, que garantizó la uniformidad y confiabilidad del campo electromagnético utilizado. La exposición a los campos electromagnéticos se realizó durante tres minutos para todos los tratamientos.

## Variables evaluadas

Después de realizar el proceso de imbibición de las semillas y el tratamiento magnético, fueron realizadas evaluaciones de:

- **Porcentaje de germinación (PG):** Se hicieron conteos de las semillas germinadas durante los primeros 10 días. A partir de este dato se calculó y se determinó el porcentaje de germinación de las semillas por medio de la Ecuación 1

$$PG = \frac{\text{Cantidad de semillas germinadas}}{\text{Cantidad de semillas sembradas}} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

- **Velocidad de germinación (VG):** La velocidad de germinación se calculó considerando el número de semillas germinadas contadas hasta el séptimo día, cuando no germinaron más semillas. Se empleo la formula descrita por Sinefu et al. (2011),

$$VG = \frac{\text{No. de semillas germinadas}}{\text{1er día de conteo}} + \dots + \frac{\text{No. de semillas germinadas}}{\text{7mo día de conteo}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

- **Índice de vigor (IV):** fue calculado al realizar mediciones de la longitud del hipocótilo con una regla milimetrada y dicho valor se multiplicó por el porcentaje de germinación, según formula descrita por Abdul-Baki y Anderson (1973),

$$IV = PG * \text{Longitud del hipocótilo} \quad (\text{Ecuación 3})$$

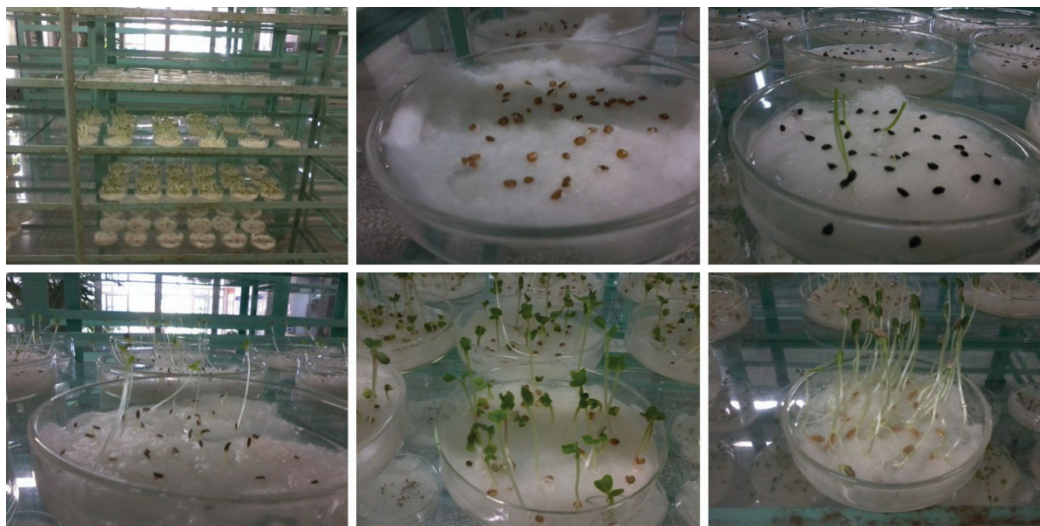
## Análisis estadístico

Fue realizado una prueba de normalidad Shapiro-Wilk de los datos y después de verificada normalidad, fue realizada un análisis de variancia (ANOVA) para las variables PG, VG e IV. Las medias fueron comparadas por el Test Tuckey, al 95% de significación. Se utilizó el paquete estadístico RBio (Bhering, 2017) para el procesamiento de todos los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimulación del proceso de germinación constituye la base para obtener una buena cosecha y es por eso que métodos que contribuyan a mejorar el desempeño de diferentes especies hortícolas para esta variable es siempre beneficioso. La aplicación de campos magnéticos es una alternativa en el logro de esa estimulación de la germinación. La combinación con humedecimiento previo de la semilla puede contribuir para esa mejor respuesta y es por eso que esa combinación es evaluada en nuestro trabajo.

El proceso de germinación fue iniciado desde el primer día en las semillas en imbibición, mientras que las semillas que no se embebieron sólo germinaron a partir del quinto día, mostrando la diferenciación que hubo para este factor en todas las especies evaluadas. En la Figura 1 imágenes ilustrativas de como ocurrió el proceso de germinación en condiciones controladas.



**Figura 1.** Imágenes ilustrativas de las condiciones de crecimiento y desenvolvimiento de las semillas empleadas en el experimento.

Al evaluar el PG, VG y IV de las semillas, el ANOVA arrojó diferencias altamente significativas apenas para el factor imbibición (Imb), mientras que para las diferentes inducciones magnéticas (Im) y la interacción de ellos (Imb x Im) no se manifestaron diferencias para el teste F ( $p < 0.05$ ), con la excepción de la lechuga que manifestó Ib x Im significativa en PG y VG, y cebollino para IV (Tabla 1). Los datos de las comparaciones de medias de los factores independientes para PG, VG y IV en las diferentes especies son mostrados en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, respectivamente. El coeficiente de variación para todas las características se mantuvo adecuado, con la excepción del cebollino que manifestó valores superiores a 35%

independiente de la variable evaluada, comportamiento muy relacionado con la dispersión de los datos obtenidos para esta especie.

Para aquellas variables que manifestaron interacciones Imb x Im los resultados son mostradas en la Tabla 1. Para el PG obtenido a los 10 días en la lechuga la imbibición de la semilla en agua favoreció esta variable para las inducciones magnéticas 20 mT, 0.80 T y 0.90 T, e incluso en el control. A estimulación en el control muestra que para las semillas o humedecimiento previo de ellas mejora el PG de esta especie, así como, para la variable VG que manifestó el mismo comportamiento. Esta afirmación es más evidente cuando observamos que dentro de SSI no hubo efecto de las diferentes inducciones, mientras que para SCI los tratamientos se diferenciaron siendo la mayor inducción 0.90 T la que promovió la mayor media con 97.12 % de germinación, apenas diferenciándose del tratamiento 60 mT (80.96 %) pelo teste Tukey ( $p < 0.05$ ). Estos resultados demuestran la respuesta de la especie ante la exposición del campo magnético, lo que coincide con los resultados de Pacheco et al. (2010). Todo parece indicar que la aplicación de los campos electromagnéticos favoreció desde el punto de vista biológico, la presión osmótica en la semilla en sentido general propiciando una mejor hidratación del embrión y anticipando la germinación.

**Tabla 1.** Efecto de un campo electromagnético de 60 Hz en el porcentaje de germinación (PG), velocidad de germinación (VG) e índice de vigor (IV) de semillas ortodoxas de lechuga y cebollino que recibieron tratamiento sin imbibición (SSI) y con imbibición (SCI) de agua.

Inducción Mag.	PG para Lechuga		VG para Lechuga		IV para Cebollino	
	SSI	SCI	SSI	SCI	SSI	SCI
Control	67.92 Ab	86.81 ABa	3.30 Ab	4.25 ABa	100.92 ABa	20.22 Ab
20 mT	78.62 Ab	92.06 ABa	3.79 Ab	4.52 ABa	69.26 ABa	21.02 Ab
40 mT	78.25 Aa	82.88 ABa	3.92 Aa	4.14 ABa	62.86 Ba	27.19 Ab
60 mT	80.51 Aa	80.96 Ba	3.88 Aa	3.95 BCa	115.89 Aa	19.64 Ab
0.80 T	71.95 Ab	88.18 ABa	3.61 Aa	3.33 Ca	101.72 ABa	32.56 Ab
0.90 T	75.54 Ab	97.12 Aa	3.69 Ab	4.72 Aa	54.96 Ba	68.95 Aa
CV* (%)	7.13		7.15		35.71	

\*CV: coeficiente de variación de la ANOVA. Letras mayúsculas y minúsculas en la columna y fila, respectivamente, significan diferencias estadísticas por la prueba de Tukey al 5% de significación.

La estimulación en semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) con un bajo porcentaje de germinación (50%) fue obtenido al tratar las semillas con un campo magnético de baja frecuencia, donde la aplicación de 30 mT, 50 Hz en 15 minutos, aumentó significativamente la germinación (28.25%) de las semillas en relación al control (Aksyonov et al., 2001); efectos similares se obtuvieron con semillas de remolacha de bajo vigor (*Beta vulgaris* L.) tratadas con 5 mT, 16 Hz por 2 h, mostrando una mejora del 25% en la germinación, lo que demuestra que la estimulación magnética proporciona mayores beneficios en semillas de bajo vigor (Rochalska et

al., 2008) . Estas investigaciones muestran que campos magnéticos podrían ser una opción viable para mejorar la calidad fisiológica de las semillas envejecidas.

La VG de la lechuga para los tratamientos control, 20 mT, y 0.90 T mostró que existe un efecto positivo sobre la SCI para la variable, mostrando el efecto que tiene el humedecimiento previo combinado con algunas de las inducciones magnéticas, y como el control manifiesta ese efecto también (Tabla 1). Para los otros tratamientos no se observó efecto del pretratamiento con agua para esta variable. Igual comportamiento al de PG la VG manifestó, con un efecto más evidente de la imbibición de la semilla al observar que dentro de SSI no se diferenciaron los tratamientos (diferentes inducciones magnéticas) y dentro de la SCI a mayor inducción 0.9 T fue quien evidencio la mayor media de 4.72.

Para a variable IV interacciones fueron obtenidas en las semillas de cebollino apenas (Tabla 1), con una inversión cuanto al comportamiento obtenido dentro de los tratamientos de inducción magnética y su relación con la imbibición en relación a la lechuga para PG y VG, donde para esta especie la ausencia de imbibición fue quien promovió las mayores medias para la mayoría de los tratamientos, con excepción de la mayor inducción (0.9 T) en la cual no se diferenciaron SSI y SCI. Al considerar las variaciones existentes dentro de SCI se observa que los tratamientos no se diferenciaron, ja dentro de SSI hubo diferenciación para el IV siendo el tratamiento de 60 mT quien más estimulo esta variable para cebollino.

El PG en las semillas de pepino, berenjena, rábano y cebollino, no se vio estimulado por la inducción magnética, aunque, los valores obtenidos muestran una variación entre los PG de las diferentes especies siendo el pepino (PG > 98 %) y el cebollino (PG < 15 %) quienes manifestaron los mayores y menores valores, respectivamente (Tabla 2). Estos resultados, muestran que la respuesta de las especies al efecto del campo electromagnético de 60Hz es específica, y no existe un patrón único de respuesta a la germinación para todas las especies. Balouchi y Sanavy (2009) en *Cuscuta monogyna* obtuvieron una respuesta similar al observar que los porcentajes de germinación no fueron afectados por los tratamientos electromagnéticos, 128  $\mu$ T para 12 y 24 h, pero eran más bajos que el control, lo que coincide con los resultados obtenidos para cebollino. Estos mismos autores, también demostraron que los tratamientos con campo electromagnético no afectaron características asociadas a la morfología de la planta como el índice de crecimiento, la masa fresca de las plántulas y la masa seca del brote de cuscuta.

**Tabla 2.** Efecto de un campo electromagnético de 60 Hz en el porcentaje de germinación (PG) de semillas ortodoxas que recibieron tratamiento sin imbibición (SSI) y con imbibición (SCI) de agua.

Inducción Mag.	Pepino	Berenjena	Rábano	Cebollino
Control	98.97 <sup>ns</sup>	85.56 <sup>ns</sup>	87.08 <sup>ns</sup>	15.26 <sup>ns</sup>
20 mT	98.97	82.04	87.45	12.50
40 mT	98.41	86.08	86.06	15.60
60 mT	98.95	83.23	86.23	12.05
0.80 T	99.32	88.12	89.67	13.56
0.90 T	99.66	86.13	86.39	13.98
<b>Imbibición</b>				
SSI	99.72 a	80.19 b	87.51 a	16.68 a
SCI	98.38 b	90.20 a	86.78 a	10.96 a
CV* (%)	1.52	8.13	6.66	36.67

\*CV: coeficiente de variación de la ANOVA. Letras minúsculas en la columna significan diferencias estadísticas por la prueba de Tukey al 5% de significación.

Por otra parte, Jiménez et al. (2013) indicaron que los campos electromagnéticos implementados no tuvieron efecto en el porcentaje de germinación final de semillas de ají, limón rojo, ya que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados son similares a los que se obtienen para las semillas de cebollino sin imbibición y que reciben el tratamiento electromagnético.

Al considerar la imbibición de las semillas (Tabla 2), se observó que para el pepino y la berenjena hubo diferencias significativas entre ambos tratamientos, aunque manifestaron resultados opuestos, apenas en la berenjena el humedecimiento previo de la semilla estimuló la germinación. Al hidratar la semilla se desencadenan procesos metabólicos en la semilla que dan como resultado la germinación de las diferentes especies. Sería esperado entonces que al combinar las semillas con el agua se estimule el PG, pero como se observó esta respuesta varía entre las diferentes especies testadas, aunque como se comentó anteriormente la velocidad de la germinación fue directamente proporcional. La respuesta se vio estimulada si consideramos que después de un día de tratamiento ya se observó germinación en el tratamiento con imbibición de agua, mientras que el otro tratamiento SSI apenas en el quinto día es que manifestó este proceso.



**Tabla 3.** Efecto de un campo electromagnético de 60 Hz en la velocidad de germinación (VG) de semillas ortodoxas que recibieron tratamiento sin imbibición (SSI) y con imbibición (SCI) de agua.

Inducción Mag.	Pepino	Berenjena	Rábano	Cebollino
Control	4.59 a	4.03 <sup>ns</sup>	3.83 <sup>ns</sup>	2.18 <sup>ns</sup>
20 mT	4.77 a	3.83	4.18	1.80
40 mT	4.71 a	3.98	4.06	2.23
60 mT	4.72 a	3.77	4.12	1.72
0.80 T	0.97 b	3.64	4.24	1.93
0.90 T	0.88 b	4.05	4.15	2.00
Imbibición				
SSI	3.45 <sup>ns</sup>	3.61 <sup>ns</sup>	4.18 <sup>ns</sup>	2.38 a
SCI	3.43	4.15	4.01	1.57 b
CV* (%)	6.64	22.32	7.14	36.84

\*CV: coeficiente de variación de la ANOVA. Letras minúsculas en la columna significan diferencias estadísticas por la prueba de Tukey al 5% de significación.

La VG en las semillas de berenjena, rábano y cebollino, no se vio estimulado por la inducción magnética, aunque, los valores obtenidos muestran una variación entre las VG de las diferentes especies siendo apenas el pepino quien se diferenció para esta variable donde para el control, 20, 40 y 60 mT tuvieron los mayores valores sin diferencias entre ellos, ya el resto de los tratamientos manifestaron los menores valores (Tabla 3). Al considerar la imbibición apenas se obtuvo diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) para el cebollino, siendo mayor en la ausencia de humedecimiento previo. Los resultados pueden relacionarse con los resultados obtenidos por Martínez et al. (2014) quienes obtuvieron una aceleración de 0,943 en el índice de velocidad de germinación y los de Samani et al. (2013) en que la exposición de semillas de comino (*Cuminum cyminum*). Algunos autores observaron que durante la exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia 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 celular (Yano et al., 2004; Dattilo et al., 2005). Resultados similares en estas características debido a exposición a campo magnético de semillas se han demostrado en *Festuca arundinacea* Schreb y *Lolium perenne* L. (Carbonell et al., 2008), y en *Helianthus annuus* (Vashisth; Nagarajan, 2010).

Para la variable del índice de vigor evaluados durante 7 días a partir del tercer día después de la siembra no hubo diferencias significativas de los resultados en las semillas de pepino, rábano, berenjena y lechuga bajo la acción del tratamiento electromagnético de frecuencia baja 60 Hz para las inducciones testadas en estos diferentes cultivos (Tabla IV). Al considerar la imbibición observamos que para los cultivos berenjena y rábano se observó un efecto opuesto

entre estas dos cultivares, siendo el mayor efecto encontrado en SCI (301.43) y SSI (596.72) respectivamente.

**Tabla 4.** Efecto de un campo electromagnético de 60 Hz en el índice de vigor (IV) de semillas ortodoxas que recibieron tratamiento sin imbibición (SSI) y con imbibición (SCI) de agua.

Inducción Mag.	Pepino	Berenjena	Lechuga	Rábano
Control	788.00 <sup>ns</sup>	250.32 <sup>ns</sup>	353.15 <sup>ns</sup>	569.68 <sup>ns</sup>
20 mT	766.35	241.10	416.55	558.22
40 mT	757.08	262.66	426.43	535.87
60 mT	762.13	266.37	398.89	594.79
0.80 T	836.05	251.78	344.44	552.12
0.90 T	762.68	271.85	377.72	521.03
Imbibición				
SSI	789.21 <sup>ns</sup>	213.26 b	383.69 <sup>ns</sup>	596.72 a
SCI	778.22	301.43 a	388.70	520.51 b
CV* (%)	6.93	11.26	14.91	18.68

\*CV: coeficiente de variación de la ANOVA. Letras minúsculas en la columna significan diferencias estadísticas por la prueba de Tukey al 5% de significación.

No existe un modelo para establecer la relación óptima entre la inducción electromagnética y el tiempo de exposición. La respuesta varía en dependencia de la especie en cuestión, lo que concuerda con los resultados obtenidos. Por otro lado, se han descrito los efectos biológicos generados en dicotiledóneas y monocotiledóneas a partir de la aplicación de los campos electromagnéticos de baja frecuencia de 1 a 7 mT por 15 minutos alternados y de 2mT a 10 mT, 1- 4 horas con una frecuencia de 60 Hz en semillas de *Brassica napus* L. (dicotiledónea) y *Zea mays* L. (monocotiledónea) (Shabrang; Majd, 2009). Estos autores concluyeron que las monocotiledóneas son menos fuertes y resistentes a los tratamientos que las dicotiledóneas. Los resultados de su investigación determinan que estas diferencias dependen no solo del genotipo, sino también de la dureza de la semilla y el almacenamiento de los polisacáridos que protege al embrión.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que el efecto de la aplicación de campos magnéticos en la germinación de las semillas no está muy bien identificado; aunque su respuesta se atribuye a diversos mecanismos como estimulación enzimática de la  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa (Rochalska; Grabowska, 2007; Florez et al., 2007; Vashisth; Nagarajan, 2010), la dinámica de absorción del agua debido principalmente a variación en la permeabilidad de la membrana celular (Pietruszewski, 2011); transformaciones bioquímicas y fisiológicas a nivel celular. La combinación de imbibición se muestra como una aliada al estímulo que los campos magnéticos promueven en las plantas, aunque estos estímulos pueden variar entre diferentes especies.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Baki AA, Anderson JD (1973). Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. *Crop Science*, 13(6): 630-633.
- Aksyonov SI, Bulychev AA, Grunina TY, Goryachev SN, Turovetsky VB (2001). Effects of ELF-EMF treatment on wheat seeds at different stages of germination and possible mechanisms of their origin. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 20(2): 231-253.
- Arenas AA, Angarita W, Jácome RL (2015). Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz. *Tecnura*, 19(45): 65-73.
- Balouchi HR, Sanavy SM (2009). Electromagnetic field impact on annual medics and dodder seed germination. *International Agrophysics*, 23(1): 111-115.
- Berjak P, Farrant JM, Pammenter NW (2010). The basis of recalcitrant seed behaviour. In: *Recent advances in the development and germination of seeds*. p. 89 -108.
- Bhering LL (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(2): 187-190.
- Carbonell MV, Florez M, Martínez E, Maqueda R, Amaya JM (2011). Study of stationary magnetic fields on initial growth of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. *Seed Science and Technology*, 39(3): 673-679.
- Carbonell MV, Martínez E, Flórez M, Maqueda R, Pintor-Lopez A, Amaya JM (2008). Magnetic field treatments improve germination and seedling growth in *Festuca arundinacea* Schreb. and *Lolium perenne* L. *Seed Science and Technology*, 36(1): 31-37.
- Dattilo AM, Bracchini L, Loisel SA, Ovidi E, Tiezzi A, Rossi C (2005). Morphological anomalies in pollen tubes of *Actinidia deliciosa* (Kiwi) exposed to 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 26(2): 153-156.
- Domínguez H, Fong A, Reguera F, Castillo J (1999). Estimulador electromagnético para cultivos in vitro (BioNak-03). Patente No 22602.
- Pacheco AD, Aguilar CH, Orea AC, Carballo AC, Bautista RZ, Ortíz EM (2010). Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2): 183-188.
- Florez M, Carbonell MV, Martínez E (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany*, 59(1): 68-75.
- Hincapié EA, Osorio JT, López LB (2010). Efecto del campo magnético sobre la germinación de la (*Leucaena leucocephala*). *Scientia et Technica*, 1(44): 337-341.

- Jiménez C, Méndez M, Daza MC, Zúñiga O (2013). Electromagnetic stimulated chili (*Capsicum sinense*) seed germination. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1): 46-54.
- Martínez FR, Pacheco AD, Aguilar CH, Pardo GP, Ortiz EM (2014). Effects of magnetic field irradiation on broccoli seed with accelerated aging. *Acta Agrophysica*, 21(1): 63-73.
- Pietruszewski S (2011). Electromagnetic Fields, Impact on Seed Germination and Plant Growth. In: *Encyclopedia of Agrophysics* (p. 267-269). Springer Netherlands.
- Rochalska M, Grabowska K, Ziarnik A (2008). Impact of low frequency magnetic fields on yield and quality of sugar beet. *International Agrophysics*, 23(2): 163-174.
- Rochalska M, Grabowska K (2007). Influence of magnetic fields on activity of enzyme:  $\alpha$ - and  $\beta$ -amylase and glutathione S-transferase (GST) in wheat plants. *Int. Agrophysics*. 21(2): 185-188.
- Saavedra G (2013). Introducción a la producción de hortalizas. Series técnicas: Producción de hortalizas para la República de Guinea Ecuatorial. Número 1. p. 7, 16 – 32.
- Samani MA, Pourakbar L, Azimi N (2013). Magnetic field effects on seed germination and activities of some enzymes in cumin. *Journal of Life Sciences*, 10(1): 323-28.
- Shabrang A, Majd A (2009). Comparing effects of electromagnetic fields (60 Hz) on seed germination and seedling development in monocotyledons and dicotyledons. In: *PIERS Proceedings*, Moscow, Russia, August 18: 21.
- Sinefu F, Modi A, Mabhaudhi T (2011). Seed quality components of a Bambara groundnut landrace from KwaZulu-Natal, South Africa. *African Crop Science Conference Proceedings*, 10(1): 149-156.
- Araújo SdeS, Paparella S, Dondi D, Bentivoglio A, Carbonera D, Balestrazzi A (2016). Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*, 12(7): 646.
- Vashisth A, 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.
- Yano A, Ohashi Y, Hirasaki T, Fujiwara K (2004). Effects of a 60 Hz magnetic field on photosynthetic CO<sub>2</sub> uptake and early growth of radish seedlings. *Bioelectromagnetics*, 25(8): 572-581.