

El campo magnético mejora la respuesta morfo-fisiológica en cultivares de *Rubus* spp. sin reguladores de crecimiento

Magnetic field improves morpho-physiological response in *Rubus* spp. cultivars without growth regulators

Nemesio Santamaría¹; Ernestina Vásquez¹; Carlos Millones^{1*}

¹ Laboratorio de Biología, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Calle Higos Urco 342, Chachapoyas, Amazonas, Perú.

* Autor corresponsal: carlos.millones@untrm.edu.pe (C. Millones).

ORCID de los autores:

N. Santamaría, <https://orcid.org/0000-0001-8661-4393>

E. Vásquez, <https://orcid.org/0000-0002-2106-7840>

C. Millones, <https://orcid.org/0000-0001-7236-6341>

RESUMEN

Los campos magnéticos (CMs) afectan los sistemas biológicos, en particular el crecimiento y desarrollo de las plántulas *in vitro*, que pueden ser utilizados como una alternativa viable en la propagación *in vitro* de los cultivares de *Rubus* spp. Por tanto, el presente trabajo evaluó la influencia de los CMs en la respuesta morfo-fisiológica *in vitro* de plántulas de tres cultivares de *Rubus* spp. Secciones nodales de tres cultivares de *Rubus* spp. fueron colocados en medio de crecimiento y desarrollo, posteriormente fueron colocados en ambiente de crecimiento y sometidos a tres intensidades de los CMs 50, 100 y 200 mT empleando imanes de neodimio. El índice de clorofila fue mejorado por la exposición a los CMs comparados al control en los tres cultivares en estudio, el empleo del CM de 200 mT registró mayor longitud de brote solo en plántulas del cultivar Brazos. Los CMs mejoraron significativamente índice de clorofila y la longitud de brote en medios de cultivo sin reguladores de crecimiento, debiendo realizarse más experimentos de los efectos de los CMs en esta especie para emplearse en el futuro para la propagación *in vitro* de esta especie.

Palabras clave: Campo magnético; índice de clorofila; respuesta morfogénica; *Rubus* spp.; SPAD.

ABSTRACT

Magnetic fields (MFs) affect biological systems, particularly the growth and development of *in vitro* seedlings, which can be used as a viable alternative in the *in vitro* propagation of *Rubus* spp. Thus, the aim of this work was to evaluate the influence of MFs on the *in vitro* morphogenic response of seedlings of three cultivars of *Rubus* spp. Nodal segments of three *Rubus* spp. cultivars were placed in growth and development medium, then placed in a growth environment and subjected to three intensities of the MFs 50, 100 and 200 mT using neodymium magnets. The chlorophyll index was improved by exposure to MFs compared to the control in the three cultivars under study, the use of 200 mT MF recorded greater shoot length only in Brazos cultivar seedlings. MFs significantly improved chlorophyll index and shoot length in culture media without growth regulators, and further experiments on the effects of MFs on this species should be conducted for future use for *in vitro* propagation of this species.

Keywords: Magnetic field; chlorophyll index; morphogenic response; *Rubus* spp.; SPAD.

Recibido: 06-08-2024.

Aceptado: 15-03-2025.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

Los seres vivos en general son afectados por el CM que emite el planeta tierra y otras fuentes naturales o artificiales, siendo el CM un factor ambiental inevitable para toda forma de vida en la biósfera, es así, que el CM está en permanente interacción con los microorganismos, animales y plantas (Narasimhan & Bindu, 2023). En diferentes experimentos realizados con los CMs, los tiempos de exposición juegan un rol importante al interactuar con el material vegetal como semilla y plántulas influenciando de manera relevante en la respuesta morfogénica (Thomas et al., 2013).

El género *Rubus* es muy diverso genéticamente, abarca un número considerable de especies silvestres en comparación con los cultivares desarrollados para fruto comestible (Wu et al., 2009). Los cultivares de *Rubus* poseen frutos con compuestos bioactivos que pueden ayudar a prevenir enfermedades como el cáncer, enfermedades inflamatorias, cardiovasculares y por estrés oxidativo, aumentando la preferencia por los consumidores (Skrovankova et al., 2015; Huang et al., 2022).

En los últimos años la propagación de *Rubus* se viene desarrollando a través de métodos no convencionales empleando la propagación *in vitro*, debido a que las especies de este género se caracterizan por ser altamente heterocigotas y propagarlas por semilla sexual se obtendría una alta variabilidad de las plántulas (Kefayeti et al., 2019), es así, que para la propagación *in vitro* se vienen empleando explantes como ápices meristemáticos (Ahmad & Elaziem, 2022), brotes (Pérez-Martínez & Castañeda-Garzón, 2017; Schiehl et al., 2020; Aly et al., 2022), segmentos nodales (Millones, 2018; Kefayeti et al., 2019; Samaan & Nasser, 2022), brotes adventicios etiolados (Millones & Vásquez, 2020).

Aplicaciones agronómicas empleando CMs han sido evaluados por sus efectos sobre la respuesta de plantas como en el incremento, crecimiento y desarrollo de raíces y brotes, mejoramiento de la tasa de germinación de semillas, aumento del contenido de los pigmentos fotosintéticos, intensificación de la división celular, aumento de la absorción de agua y sales minerales, y mejoramiento de la utilización de las reservas de las semillas bajo estrés salino (Maffei, 2014; Sarraf et al., 2020; Sharafi, 2025). Los CMs tienen efectos en las plantas, cuya respuesta pueden depender de la especie y/o la intensidad y tiempo de exposición de estos (Nyakane et al., 2019). La aplicación de los CMs en plantas ha sido empleada en la germinación *in vitro* de semillas de *Adenantha pavinina* (Medeiros et al., 2013), *Rosmarinus officinalis* (Fung et al., 2010), evaluación del efecto de la germinación de semillas de soya y maíz bajo condiciones salinas (Kataria et al., 2017), establecimiento de

los mecanismos relacionados a la especies reactivas de oxígeno (ROS), calcio citoplásmico y sus redes reguladoras sobre la tolerancia al estrés salino en plántulas de álamo (*Populus x deltoides* 'Lulin-2') (Hu et al., 2024), evaluación de la germinación y crecimiento inicial de semillas de triticale (Flórez et al., 2014), germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. 1973 (Broszkiewicz et al., 2018), Cucumber (Cheikh et al., 2018); regulación de la comunidad rizobacteriana para la producción de sustancias poliméricas extracelulares que mejoraron la disponibilidad de nutrientes del suelo en plántulas de álamo (*Populus x euramericana* 'Neva') bajo estrés salino (Wenhao et al., 2023); reducción de la peroxidación lipídica y la mejora de los niveles de H₂O₂ y óxido nitroso sumado a la activación del sistema de defensa antioxidante como mecanismo de protección a las plántulas de soya contra la toxicidad de mercurio durante la germinación de las semillas (Prajapati et al., 2024). Con respecto a la respuesta morfogénica *in vitro* influenciada por los CMs, se ha evaluado su efecto en el crecimiento de brotes de *Cymbidium* y *Spathipjyllum* (Van et al., 2012); crecimiento y desarrollo, y control de la morfogénesis de *Phalaenopsis* (Van et al., 2011); regeneración de brotes a partir de nudos cotiledonales de *Lathyrus chrysanthus* Boiss (Bahadir et al., 2018); multiplicación y enraizamiento de brotes de *Genista aetnensis* (Raf. Ex Biv) (Airò et al., 2017); mejoramiento de la capacidad de regeneración en yemas axilares de *Melissa officinalis* L. (Ülgen et al., 2020); mayor respuesta morfogénica como número y longitud de brotes, número de hojas a partir de segmentos nodales de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) (Madhavan & Anand, 2018).

En los últimos años para la propagación de cultivares de *Rubus* spp. se vienen empleando métodos no convencionales, como la propagación *in vitro*, una buena alternativa para obtener plántulas sanas, genéticamente uniformes y en un corto periodo. Mediante esta técnica se han evaluado diferentes reguladores de crecimiento como auxinas, citocininas y giberelinas para inducir respuestas morfogénicas para la inducción de brotes, raíces. Además, se han evaluado procesos de etiolación de brotes para el crecimiento y desarrollo de los explantes. Sin embargo, es escaso el conocimiento del efecto de los CMs para inducir una respuesta morfológica y fisiológica en los explantes bajo condiciones de cultivo *in vitro* de cultivares de *Rubus* spp. que permita disminuir el uso de reguladores de crecimiento en los protocolos de propagación *in vitro* de esta especie. Razón por la cual, la presente investigación evaluó la influencia de los CMs en la respuesta morfo-fisiológica *in vitro* de plántulas de tres cultivares de *Rubus* spp.

METODOLOGÍA

El material vegetativo estuvo conformado por plántulas de los cultivares de *Rubus* spp. Tupy, Navaho y Brazos (Figura 1a). El enraizamiento de los segmentos nodales (Figura 1b y 1c) se realizó en medio de cultivo empleando las sales basales y vitaminas MS (Murashige & Skoog, 1962), mio-inositol 100 mg/L, sacarosa 30 g/L, buffer fosfato 18 mL/L, ácido ascórbico 150 mg/L, phytagel 1,5 g/L, pH ajustado a 5,8, carbón activado 2 g/L, ácido naftalenacético 1 mg/L y ácido indolbutírico 2 mg/L (Millones & Vásquez, 2020). Enraizados los segmentos nodales a los 30 días de cultivo *in vitro*, estos fueron trasplantados a medios de cultivo de similar composición que el medio de enraizamiento, pero sin reguladores de crecimiento y carbón activado, colocando seis segmentos por recipiente y sometidos a los ensayos de diferentes intensidades de CMs por 28 días (Figura 1d).

Los vasos de magenta que contenían los explantes se expusieron a tres intensidades de CMs 50, 100 y 200 mT, empleando imanes de neodimio cuya intensidad fue medida con el Gaussímetro digital, de marca Lutron, modelo MG-3002, resolución de 0,01/0,1 mT. Los imanes fueron colocados en los laterales del vaso de magenta. Todos los tratamientos del diseño experimental se realizaron simultáneamente junto con el control en condiciones similares de crecimiento a temperatura de $24 \pm 0,1$ °C, irradiancia de $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y fotoperiodo 16/8 horas (día/noche).

La medición de la longitud de brote se realizó mediante observación directa y estimación visual

empleando una regla graduada. La medición del valor SPAD se determinó a partir de las primeras hojas completamente expandidas del tercio superior de la plántula empleando un medidor de clorofila MINOLTA SPAD 502 Plus. El contenido hídrico (%) fue determinado mediante la fórmula $\text{CH} (\%) = [(\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / \text{peso fresco}] \times 100$ (Rukundo et al., 2012).

La evaluación del efecto de los CMs en los cultivares de *Rubus* spp. en la respuesta morfológica y fisiológica de plántulas de *in vitro* fue empleado un diseño completamente al azar en arreglo factorial (Factor A: tres cultivares de *Rubus* spp., Factor B: tres CMs que incluyen el control) y cuatro repeticiones, cada repetición con seis plántulas enraizadas. Las diferencias significativas entre las medias fueron calculadas con la prueba Tukey a $p \leq 0,05$. El ANOVA de dos factores se realizó para analizar los efectos combinados de los factores. El MANOVA de dos factores fue realizado con todas las variables morfológicas y fisiológicas. Las diferencias significativas fueron analizadas a $p \leq 0,05$ y $p \leq 0,01$, respectivamente. La relación entre los caracteres morfológicos y fisiológicos fueron explorados con la técnica de análisis de los componentes principales. Los resultados de los componentes principales fueron visualizados con el Biplot construido entre los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2). El análisis estadístico de los datos se realizó con el software R versión 4.1.0.

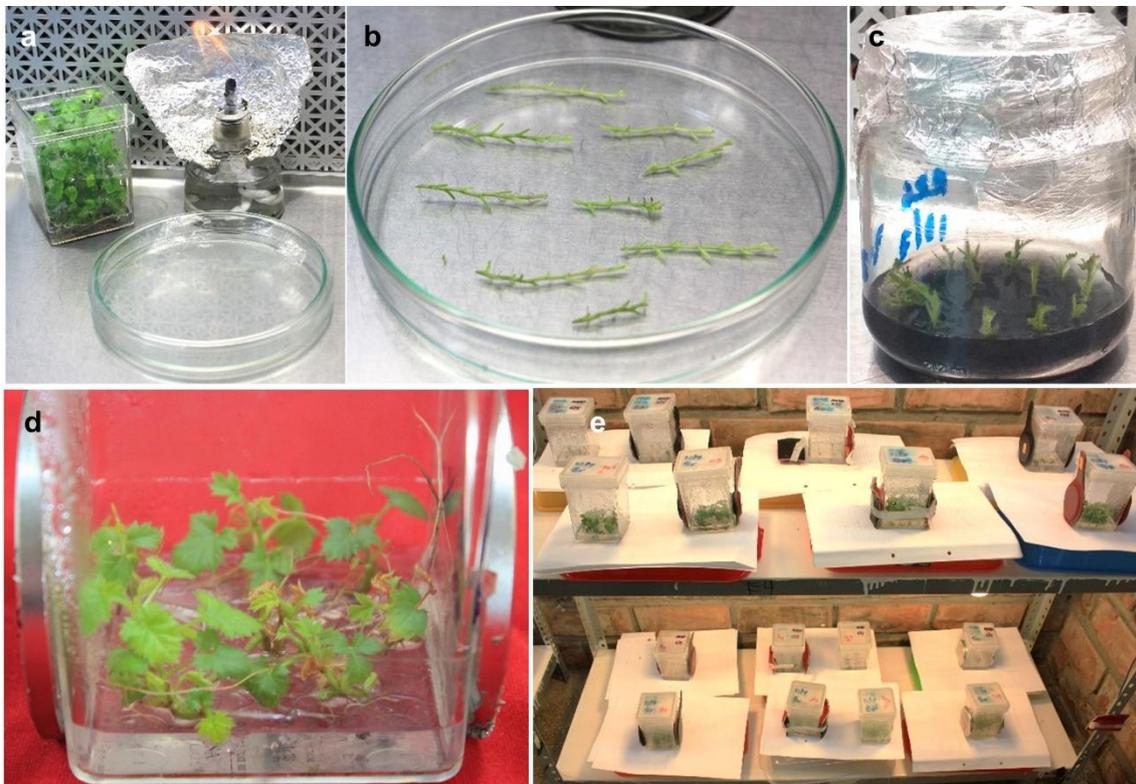


Figura 1. Preparación de segmentos nodales e instalación de sistema de campos magnéticos empleados en el presente estudio. a) Plántulas de *Rubus* spp. de 90 días de cultivo *in vitro* en medio de crecimiento y desarrollo, b) esquejes para la obtención de segmentos nodales, c) colocación de los segmentos nodales en medios de enraizamiento, d) colocación de los segmentos nodales enraizados en imanes colocados en los laterales del vaso de magenta, e) instalación del experimento con diferentes CM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El MANOVA de dos factores de los efectos de la intensidad de los CMs sobre la respuesta morfogénica y fisiológica en segmentos nodales de cultivares de *Rubus* spp. cuyos efectos principales cultivar, intensidad CM mostraron significancia multivariada ($p \leq 0,001$). A partir de estos resultados de la prueba, los efectos principales univariados fueron analizados por cada variable de manera independiente. Los factores cultivar e Intensidad del CM de las variables longitud de brote y valores SPAD fueron altamente significativas ($p \leq 0,001$). En tanto, la variable contenido hídrico solo el factor cultivar mostró alta significancia ($p \leq 0,001$).

Los reportes concernientes a los efectos de los CMs los parámetros de desarrollo de plántulas *in vitro* del género *Rubus* spp. no están disponibles. Los resultados del presente trabajo muestran cómo los parámetros de desarrollo de plántulas *in vitro* muestran variación al ser sometidos en diferentes intensidades de los CMs en comparación al control. El efecto de los CM sobre la respuesta morfogénica y fisiológica en plántulas de *Rubus* spp. se evaluaron siete variables respuesta morfológicas (número de brotes, longitud de brotes, porcentaje de inducción de brotes, número de raíces, longitud de raíces, porcentaje de inducción de raíces y área foliar) y dos fisiológicas (SPAD y contenido hídrico). En la Figura 2 se visualiza la prueba de comparación de medias de las variables que permitieron identificar el efecto de la intensidad de los CMs en la respuesta morfogénica y/o fisiológica en plántulas de los cultivares de *Rubus* spp. La longitud de brote en el cultivar Brazos

experimentó efecto positivo al ser sometido a intensidades de 200 mT, siendo la prueba significativa; los cultivares Navajo y Tupy no experimentaron efecto alguno por la exposición de los CMs (Figura 2a).

La longitud de brote en el cv. Brazos registró un efecto mayor cuando se empleó 200 mT de intensidad comparado al control a los 28 días de cultivo *in vitro*. Similares resultados fueron hallados por Husain & Jawad (2019) en *R. officinalis* al emplear intensidad de los CMs de 200 mT (2000 gauss) en brotes de un centímetro, obtuvieron mayor longitud de brote a los 30 días de cultivo *in vitro*. Yacyli & Alikamanoglu (2005) en *Paulownia tomentosa* y *Paulownia fortunei* al emplear intensidad de los CMs 2,9-4,8 mT por periodos de exposición de 2,2; 6,6 y 19,8 s por 28 días registraron mayor altura de brote en comparación con el control. La mayor longitud de brote registrado en el cv. Brazos podría explicarse por la mayor expansión de la pared celular de las células del tallo, siendo que la intensidad 200 mT de los CMs redujo la resistencia de las paredes celulares que permitió la elongación de las células de las plántulas, y de esta manera facilitó el crecimiento y desarrollo del tallo de las plántulas de *Rubus* spp. (Husain & Jawad, 2019). Al respecto, es probable el efecto positivo de los CMs que permitió mejorar las actividades biológicas como el movimiento del agua en el interior de las células, mayor permeabilidad de las membranas celulares, así como, el aumento del intercambio de iones a través del potencial en el interior y exterior de la célula (Negishi et al., 1999; García & Arza, 2001).

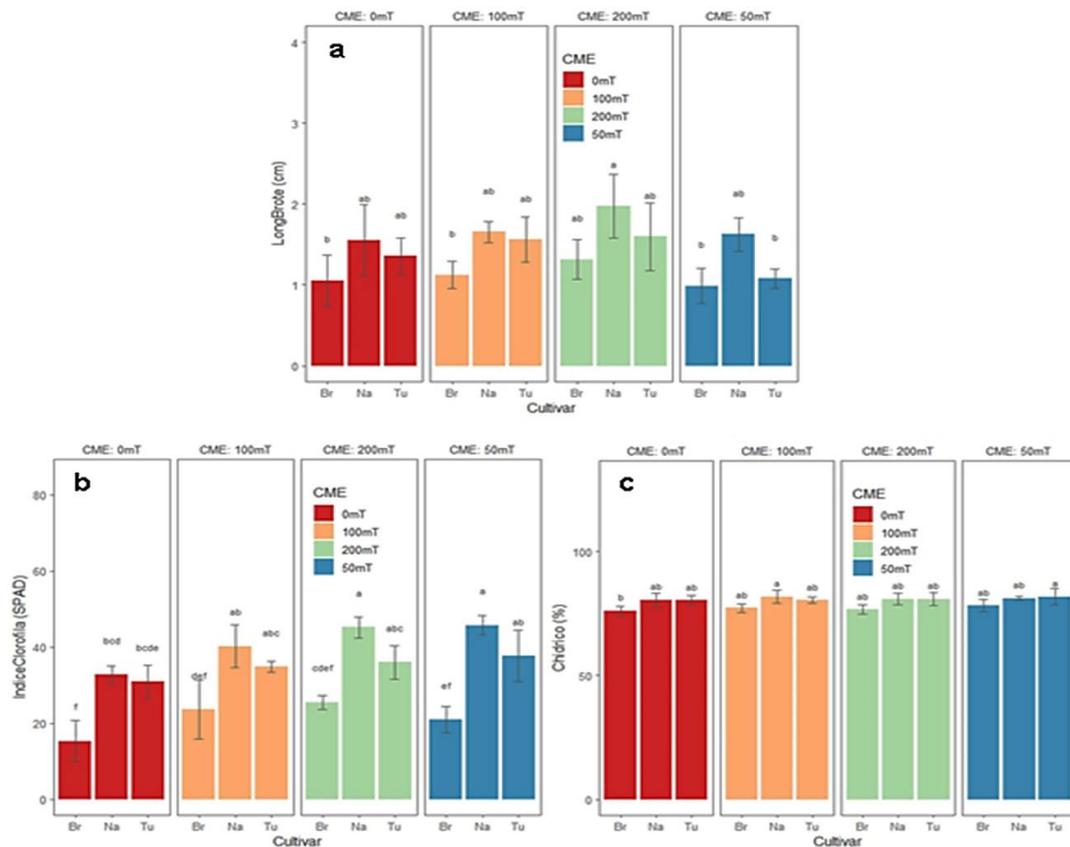


Figura 2. Efecto de la intensidad de los CM sobre la respuesta morfológica y fisiológica en segmentos nodales de cultivares de *Rubus* spp. a) longitud de brote, b) índice de clorofila, c) contenido hídrico. Datos presentados con medias \pm desviación estándar, diferentes letras indican diferencias significativas en los parámetros para un $p \leq 0,05$ de acuerdo con la prueba Tukey.

El índice de clorofila (SPAD) los tres cultivares en estudio mostraron diferencias significativas al emplear intensidades de los CMs de 50, 100 y 200 mT en comparación con el control (0 mT); asimismo, se puede apreciar que los cultivares Navajo y Tupy mostraron mayor índice de clorofila en comparación con el cultivar Brazos (Figura 2b). El contenido hídrico en el cultivar Brazos registró efecto positivo al ser sometido a intensidad de los CMs de 50, 100 y 200 mT en comparación con el control (0 mT); los cultivares Navajo y Tupy no experimentaron efecto por la exposición de los CMs (Figura 2c).

El análisis de los componentes principales del efecto de la intensidad de los CMs elaborado con los datos de las respuestas morfológicas y fisiológicas en los cultivares de *Rubus* spp. muestran que la PC1 y PC2 explican el 99,9% de la varianza total (Figura 3). Los resultados muestran que el índice de clorofila registró una fuerte y significativa correlación con la PC1 ($p < 0,05$, $r = 0,99$); el contenido hídrico registró una fuerte y significativa correlación con la PC2 ($p < 0,05$, $r = -0,99$). Estos hallazgos muestran que los cultivares de *Rubus* spp. revelaron cambios morfológicos y fisiológicos notables al ser expuestos a diferentes intensidades de los CMs.

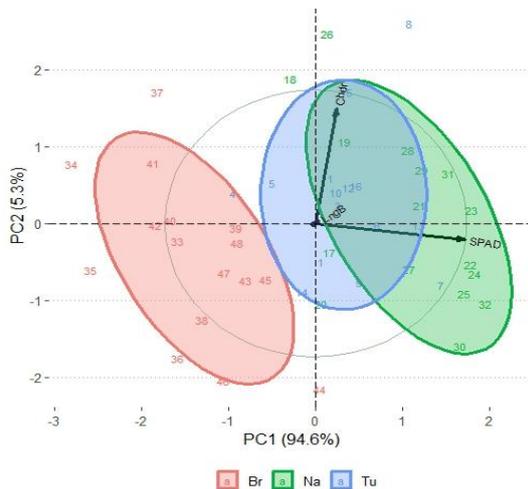


Figura 3. Análisis de los componentes principales del efecto de la intensidad de los CM sobre las respuesta morfológica y fisiológica en segmentos nodales de cultivares de *Rubus* spp.

Los CMs tienen efecto en el incremento de la clorofila en plántulas, es así, que el empleo de la intensidad de 300 mT por 14 días en plántulas de *Platycodon grandiflorum* incrementaron los contenidos de clorofila (Yang et al., 2025). En el presente estudio los valores SPAD fue una variable que estuvo influenciada

por los efectos de los CMs en comparación con el control a los 28 días de cultivo *in vitro*. Asimismo, los cultivares Navajo y Tupy mostraron mayor índice de clorofila en comparación con el cv. Brazos. Similares resultados de la influencia de los CMs con mayor índice de clorofila han sido reportados por Van et al. (2011) quienes, empleando la intensidad de 200 mT en plántulas de *Phalaenopsis* registraron mayor valor SPAD en comparación al control, 100 y 150 mT a los tres meses de cultivo *in vitro*; asimismo, cuando se emplearon uno, dos y tres meses de exposición en la intensidad de 150 mT no registraron diferencias significativas con el control. Van et al. (2012) al emplear CMs de 100, 150 y 200 mT en plántulas de especies ornamentales *Cymbidium* y *Spathiphyllum* registraron mayores valores SPAD al ser comparados con el control, asimismo, la exposición por dos semanas, uno y dos meses registraron mayores valores SPAD en comparación con el control. En el presente estudio el efecto de los CMs tuvo resultado positivo por el mayor índice de clorofila registrado, probablemente se puede explicar por el mecanismo de pares de radicales, que consiste en la modulación de la concentración promedio de radicales por efecto de los CMs, prolongando su vida útil y de esta manera ayuda a mejorar la reacción radical con los componentes celulares, siendo estos efectos con potencial en las funciones biológicas (Atak et al., 2007). Por otra parte, los CMs probablemente permitieron mejorar la tasa de regeneración de los cloroplastos que está relacionado con mejor disponibilidad de citoquininas en las plántulas expuestas a CMs (Atak et al., 2003). Otra explicación factible podría ser que el mayor índice de clorofila registrado en plántulas expuestas a los CMs sería por las propiedades del agua magnetizada y el movimiento orientado de la sustancia paramagnética bajo campos externos (Van et al., 2012). Estudios recientes sobre los efectos de los campos magnéticos en las rutas fisiológica y molecular determinan hallazgos que la germinación de semillas puede ser regulada por la expresión génica y enzimas relacionadas, ambos están asociados con la intensidad y duración de los CMs (Erez & Özbek, 2024), esto es relevante porque las rutas fisiológicas y moleculares pueden ser modificados por el efecto de los CMs en la respuesta morfológica y fisiológica en los segmentos nodales de los cultivares de *Rubus* spp. Con base a estos hallazgos se requieren de mayores estudios para un mayor entendimiento de los mecanismos que están involucrados con en el efecto de los CMs sobre la respuesta al crecimiento y desarrollo de las plántulas *in vitro*.

CONCLUSIONES

El protocolo desarrollado en el presente trabajo fue exitoso y permitió el crecimiento y desarrollo de plántulas *in vitro* de tres cultivares de *Rubus* spp. sometidos a intensidades de los CMs en comparación al control. Empleando intensidades de 200 mT los brotes experimentaron mayor longitud en el cultivar Brazos. En las tres intensidades empleadas el efecto fue positivo para el mayor índice de clorofila en

comparación con el control en los tres cultivares de *Rubus* spp.

Estos resultados proporcionan una base para futuros trabajos enmarcados a explorar los mecanismos que actúan sobre el crecimiento y desarrollo de las plántulas cultivadas *in vitro* en miras a desarrollar aplicaciones prácticas de los campos magnéticos en la agricultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, M. E., & Elaziem, T. M. A. (2022). *In vitro* regeneration and improving kaempferol accumulation in blackberry (*Rubus fruticosus* L.) callus and suspension cultures. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(12), 369-383. <http://dx.doi.org/10.21608/EJCHEM.2022.118717.5340>
- Airò, M., Ala, G., Buccheri, P., Caruso, M., Fascella, G., Giovino, A., & Mammano, M. M. (2017). Effect of weak magnetic fields on the *in vitro* propagation of *Genista aetnensis* (Raf. Ex Biv.) Dc. *Acta Horticulturae*, 1155, 387-392.
- Aly, A. A., El-Desouky, W., & El-Leel, O. F. A. (2022). Micropropagation, phytochemical content and antioxidant activity of gamma-irradiated blackberry (*Rubus fruticosus* L.) plantlets. *In vitro Cellular & Developmental Biology*, 58, 457-46. <https://doi.org/10.1007/s11627-021-10244-7>
- Atak, Ç., Emiroğlu, Ö., Alikamanoglu, S., & Rzakoulieva, A. (2003). Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merrill) tissue cultures. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 2(1), 113-119.
- Atak, Ç., Çelik, Ö., Olgum, A., Alikamanoglu, & Rzakoulieva, A. (2007). Effect of magnetic field on peroxidase activities of soybean tissue culture. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 21(2), 166-171.
- Bahadir, A., Beyaz, R., & Yildiz, M. (2018). Effect of magnetic field on *in vitro* seedling growth and shoot regeneration from cotyledon node explants of *Lathyrus chrysanthus* Boiss. *Bioelectromagnetics*, 39(7), 547-555.
- Broszkiewicz, A., Detyna, J., & Bujak, H. (2018). Influence of the magnetic field on the germination process of toska bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Breeding and Seed Science*, 77, 103-116.
- Cheikh, O., Elaoud, A. Amor, H. B., & Hozayn, M. (2018). Effect of permanent magnetic field on the properties of static water and germination of cucumber seeds. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 6(1), 108-116.
- Erez, M. E., & Özbek, M. (2024). Magnetic field effects on the physiologic and molecular pathway of wheat (*Triticum turgidum* L.) germination and seedling growth. *Acta Physiologiae Plantarum*, 46, 5.
- Flórez, M., Martínez, E., Carbonell, M. V., Álvarez, J., & Campos, A. (2014). Germination and initial growth of triticale seeds under stationary magnetic treatment. *Journal of Advances in Agriculture*, 2(2), 72-79.
- Fung, Y., Pimentel, C., Salgueiro, C. L., Alfarge, A. C., Olivera, R., & Sato, A. (2010). Efecto de la aplicación de un campo magnético sobre la germinación *in vitro* de semillas de *Rosmarinus officinalis* L. *Biotechnología Vegetal*, 10(2), 105-111.
- García, F., & Arza, L. (2001). Influence of stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I: Theoretical considerations. *Bioelectromagnetics*, 22(8), 589-595.
- Hu, J., Zhang, H., Han, W., Wang, N., Ma, S., Ma, F., Tian, H., & Wang, Y. (2025). Physiological Responses Revealed Static Magnetic Fields Potentially Improving the Tolerance of Poplar Seedlings to Salt Stress. *Forests*, 15, 138.
- Huang, X., Wu, Y., Zhang, S., Yang, H., Wu, W., Lyu, L., & Li, W. (2022). Variation in bioactive compounds and antioxidant activity of *Rubus* fruits at different developmental stages. *Foods*, 11, 1169. <https://doi.org/10.3390/foods11081169>
- Husain, Z. M. A., & Jawad, L. K. (2019). Effect of magnetic field on the growth, multiplication, and concentration of the volatile oil of *Rosemary officinalis* *in vitro*. *Iraqi Journal of Agriculture Sciences*, 50(4), 982-989.
- Jin, Y., Guo, W., Hu, X., Liu, M., Xu, X., Hu, F., ... & Huang, J. (2019). Static magnetic field regulates Arabidopsis root growth via auxin signaling. *Scientific reports*, 9(1), 14384.
- Kataria, S., Baghel, L., & Guruprasad, K. N. (2017). Pre-treatment of seed with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and Agriculture Biotechnology*, 10, 83-90.
- Kefayati, S., Kafkas, E., & Ercisli, S. (2019). Micropropagation of 'Chaster thornless' blackberry cultivar using axillary bud explants. *Not Bot Horti Agrobo*, 47(1), 162-168. <https://doi.org/10.15835/nbha47111280>
- Maffei, M. E. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5, 445.
- Madhavan, J., & Anand, A. (2019). Exposure to magnetic fields reveals a positive effect on *in vitro* propagation of *Stevia rebaudiana* (Bertonii). *Sugar Tech*, 21, 691-695.
- Medeiros, N. V., Fung, Y., Martínez, C. E., Ferrer, A. E., Asanza, G., & Gilart, F. (2013). Influencia de campos magnéticos sobre el establecimiento *in vitro* de embriones cigóticos de *Adenantha paviniana* L. *Biotechnología Vegetal*, 13(3), 145-152.
- Millones, C. E. (2018). Establecimiento y ensayos preliminares de propagación *in vitro* de zarzamora silvestre (*Rubus* sp.) del Centro Poblado San Salvador, región Amazonas. *Revista de Investigación Científica UNTRM*, 2(2), 31-38.
- Millones, C. E., & Vásquez, E. R. (2020). Regeneración y enraizamiento de brotes adventicios etiolados de cultivares de zarzamora (*Rubus* sp.). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 330-342.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid grown and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473 - 497.
- Narasimhan, S., & Bindu, S. (2023). An assessment of the application of magnetic fields in the study of *in vitro* plant cell and tissue cultivation. *Research Journal of Biotechnology*, 18(12), 147-150.
- Negishi, Y., Hashimoto, A., Tsushima, M., Dobrota, C., Yamashita, M., & Nakamura, T. (1999). Growth of pea epicotyl in low magnetic field implication for space research. *Advances in Space Research*, 23(12), 2029-2032.
- Nyakane, N. E., Markus, E. D., & Sedibe, M. M. (2019). The effects of magnetic fields on plant growth: a comprehensive review. *International Journal of Food Engineering*, 5(1), 79-87.
- Pérez-Martínez, B. A., & Castañeda-Garzón, S. L. (2017). *In vitro* propagation of *Rubus macrocarpus* Benth. and *Rubus bogotensis* Kunth, as an *ex situ* conservation strategy. *Acta Agronómica*, 66(1), 102-108.
- Prajapati, R., Kataria, S., Grade, R., Landi, M., & Jain, M. (2024). Unveiling the mechanisms underpinning alleviation of mercury toxicity by static magnetic field treatment in soybean. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43, 135-151.
- Rukundo, P., Carpentier, S. C., & Swennen, R. (2012). Development of *in vitro* technique to screen for drought tolerant banana varieties by sorbitol induced osmotic stress. *African Journal of Plant Science*, 6(15), 416-425.
- Samaan, M. S. F., & Nasser, M. A. (2022). Micropropagation of blackberry (*Rubus fruticosus*) cv. Karaka Black. *Egyptian Journal of Horticulture*, 49(2), 187-198. <https://doi.org/10.21608/EJOH.2022.151882.1205>
- Sarrafi, M., Kataria, S., Taimourya, H., Santos, L. O., Manegatti, R. D., Jain, M., Iltisham, M., & Shiliag, L. (2020). Magnetic field (MF) applications in plants: an overview. *Plants*, 9(9), 1137.
- Schiehl, M., De França, T. O., & Biasi, L.A. (2020). Adequação de protocolo para cultivo *in vitro* de amoreira-preta (*Rubus* sp.) 'Xingu'. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 8(2), 79-87. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n2.schiehl>
- Sharafi, S. (2025). Enhanced seedling growth of annual medic under salt-drought stress through ultrasonic wave and magnetic field treatments. *Applied Water Science*, 15, 59.
- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T., & Sochor, J. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of Berries. *International Journal of Molecules Sciences*, 16(10), 24673-24706.
- Thomas, S., Anand, A., Chinnusamy, V., Dahuja, A., & Basu, S. (2013). Magnetopriming circumvents the effect of salinity stress on germination in chickpea seeds. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(12), 3401-3411.
- Ülgen, C., Yildirim, A., & Turker, A. (2020). Enhancement of plant regeneration in lemon balm (*Melissa officinalis* L.) with different magnetic field applications. *International Journal of Secondary Metabolite*, 7(2), 99-108.
- Van, P. T., Da Silva, J. A. T., Ham, L. H., & Tanaka, M. (2011). The effects of permanent magnetic fields on *in vitro* growth of *Phalaenopsis* plantlets. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 86(5), 473-478.
- Van, P. T., Da Silva, J. A. T., Ham, L. H., & Tanaka, M. (2012). Effects of permanent magnetic fields on *in vitro* growth of *Cymbidium* and *Spathiphyllum* shoots. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 48(2), 225-232.
- Wenhao, H., Nianzhao, W., Jihuai, H., Kun, Y., Fengyun, M., Huimei, T., & Yanping, W. (2023). The rhizosphere soil properties and bacteria community of poplar are affected by magnetic field under salt condition. *Rhizosphere*, 27, 100747.
- Wu, J., Miller, S. A., Hall, H. K., & Mooney, P. A. (2009). Factors affecting the efficiency of micropropagation from lateral buds and shoot tips of *Rubus*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 99(1), 17-25.
- Yang, X., Wang, X., Zhang, X., Hu, J., Wang, J., Chen, Y., & Zhu, Y. (2025). Effects of *Platycodon grandiflorum* seeds exposure to static magnetic field on germination and early seedling growth. *Bio Electro Magnetism*, 46(1), e22530.
- Yaycili, O., & Alikamanoglu, S. (2005). The effect of magnetic field on *Paulownia* tissue cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 83, 109-114.