




Efecto del campo magnético en la respuesta morfogénica en especies silvestres de *Rubus* spp.

Effect of the magnetic field on the morphogenic response in wild species of *Rubus* spp.

 Nemesio Santamaría Baldera¹,  Ernestina Rosario Vásquez Castro¹ &  Carlos Eduardo Millones Chanamé^{1*}

Resumen

Los campos magnéticos (CMs) son un factor ambiental necesario para todos los seres vivos. En particular el crecimiento y desarrollo de las plántulas *in vitro*, los CMs pueden ser una alternativa viable en la propagación *in vitro* de especies de *Rubus* spp. El presente trabajo evaluó la influencia de los CMs en la respuesta morfogénica *in vitro* de plántulas de especies silvestres (ES) de *Rubus* spp. Se instalaron dos experimentos; el primer experimento evaluó el efecto de intensidad de los CMs sobre la respuesta morfogénica en los segmentos nodales, empleando dos intensidades 100 y 200 mT comparadas con el control (0 mT); el segundo experimento evaluó el efecto de la duración de la exposición del CM de 200 mT en cuatro periodos: 0, 7, 14 y 21 días. Ambos experimentos permitieron identificar el efecto de los CMs en la respuesta morfogénica como la longitud de brotes e inducción de raíces adventicias, siendo las plántulas Z001 las que mostraron mejor respuesta en comparación con las plántulas Z005. Los resultados son importantes porque en futuro podría reducirse la dependencia de las auxinas para la inducción de raíces adventicias en especies de *Rubus* spp. aportando en la producción sostenible de las plántulas *in vitro*.

Palabras clave: Campo magnético, respuesta morfogénica, *Rubus* spp.

Abstract

Magnetic fields (MFs) are an environmental factor necessary for all living beings. Particularly for the growth and development of *in vitro* seedlings, MFs can be a viable alternative for the *in vitro* propagation of *Rubus* spp. species. The present work evaluated the influence of MFs on the *in vitro* morphogenic response of seedlings of wild species (WS) of *Rubus* spp. Two experiments were set up; the first experiment evaluated the effect of MF intensities on the morphogenic response in nodal segments, using two intensities: 100 and 200 mT compared to the control (0 mT); the second experiment evaluated the effect of the duration of exposure to the 200 mT MF in four periods: 0, 7, 14 and 21 days. Both experiments identified the effect of CMs on morphogenic responses such as shoot length and adventitious root induction, with Z001 seedlings showing the best response compared to Z005. These results are important because in the future, the dependence on auxins for adventitious root induction in *Rubus* spp. could be reduced, contributing to the sustainable production of *in vitro* seedlings.

Keywords: Magnetic field, Morphogenic response, *Rubus* spp.

Recibido: 21/07/2024

Aceptado: 18/03/2025

Publicado: 03/04/2025

Sección: Artículo Original

*Autor correspondiente: carlos.millones@untrm.edu.pe

Introducción

Los seres vivos en general son afectados por el CM que emite la tierra u otras fuentes naturales o artificiales, siendo el CM un factor ambiental inevitable para toda forma de vida en la biósfera, interactuando continuamente con los animales, plantas y microorganismos (Narasimhan y Bindu, 2023). Estudios realizados en los CMs el tiempo de exposición juega un rol importante en la respuesta morfológica, fisiológica y bioquímica en los embriones de las semillas que resulta en el mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas (Thomas et al., 2013).

El género *Rubus* se caracteriza por poseer una mayor diversidad genética, en particular el considerable número de especies silvestres comparados con los cultivares empleados para la producción de fruto fresco (Wu et al., 2009). Los cultivares de *Rubus* poseen frutos con compuestos bioactivos que son de importancia para

prevenir enfermedades como el cáncer, enfermedades inflamatorias, cardiovasculares y por estrés oxidativo, reflejándose en la mayor demanda por los consumidores (Skrovankova et al., 2015; Huang et al., 2022).

Actualmente la propagación de *Rubus* es realizada *in vitro* debido a que las especies de este género son altamente heterocigotas y el empleo de la semilla botánica aumentaría la variabilidad de las plántulas

¹Laboratorio de Biología, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Calle Higos Urco N° 342-350-356–Calle Universitaria N° 304, Amazonas.

Como citar: Santamaría Baldera, N., Vásquez Castro, E. R., & Millones Chanamé, C. E. (2025). Efecto del campo magnético en la respuesta morfogénica en especies silvestres de *Rubus* spp. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 27. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.649>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

(Kefayeti et al., 2019). Existen reportes de propagación *in vitro* en las especies del género *Rubus* donde se han empleado 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 y Vásquez, 2020).

Los CMs han sido evaluados por sus efectos sobre la respuesta de las plantas al crecimiento y desarrollo de brotes y raíces, mejoramiento de la germinación de semillas, aumento del contenido de los pigmentos fotosintéticos, intensificación de la división celular, aumento de la absorción de agua y sales minerales (Maffei, 2014; Sarraf et al., 2020). Estas respuestas dependen principalmente de la especie, intensidad y tiempo de exposición de los CMs (Nyakane et al., 2019).

El empleo de los CMs en plantas ha sido ampliamente reportado para mejorar la germinación de las semillas botánicas, así tenemos, trabajos referentes a la germinación *in vitro* de semillas de *Adenantha pavina* (Medeiros et al., 2013), *Rosmarinus officinalis* (Fung et al., 2010), germinación de semillas de soya y maíz bajo condiciones salinas (Kataria et al., 2017), germinación y crecimiento inicial de semillas de triticale (Flórez et al., 2014), germinación de semillas de *Phaseolus vulgaris* L. (Broszkiewicz et al., 2018), Cucumber (Cheikh et al., 2018).

Existen pocos reportes referentes a la influencia de los CMs en la respuesta morfológica de la propagación *in vitro* de especies de importancia económica, solo se verifican trabajos que evalúan el efecto sobre el crecimiento de brotes de las orquídeas de los géneros *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); respuesta morfológica referente al número y longitud de brotes, número de hojas en segmentos nodales de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) (Madhavan y Anand, 2018).

Actualmente la propagación de las especies de *Rubus* spp. se vienen empleando métodos no convencionales como la propagación *in vitro*, que es una buena alternativa para obtener plántulas sanas, uniformes genéticamente y en corto periodo de tiempo. Sin embargo, es escaso el conocimiento del efecto de

los CMs para inducir una respuesta morfológica en los explantes bajo condiciones de cultivo *in vitro* de especies silvestres de *Rubus* spp. que permita disminuir el uso de los reguladores de crecimiento para la producción sostenible de las plántulas *in vitro*. Por ello, este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de los CMs en la respuesta morfológica *in vitro* de especies silvestres de *Rubus* spp.

Material y métodos

El material vegetativo estuvo conformado por plántulas de dos especies silvestres de *Rubus* spp. Z001 (001-Rsp-UNTRM) y Z005 (005-Rsp-UNTRM) que son utilizadas como cerco vivo por los productores de papa del Centro Poblado San Salvador, Amazonas, Perú, cuyo fruto se caracterizó por su buena calidad y mayor tamaño (Millones, 2018). La multiplicación de las secciones vegetativas *in vitro* se realizó en medio de cultivo de crecimiento y desarrollo empleando las sales basales y vitaminas MS (Murashige y Skoog, 1962), mio-inositol 100 mg/L, sacarosa 30 g/L, buffer fosfato 18 mL/L, ácido ascórbico 150 mg/L, phytigel 1,5 g/L y pH ajustado a 5,8. (Millones y Vásquez, 2020).

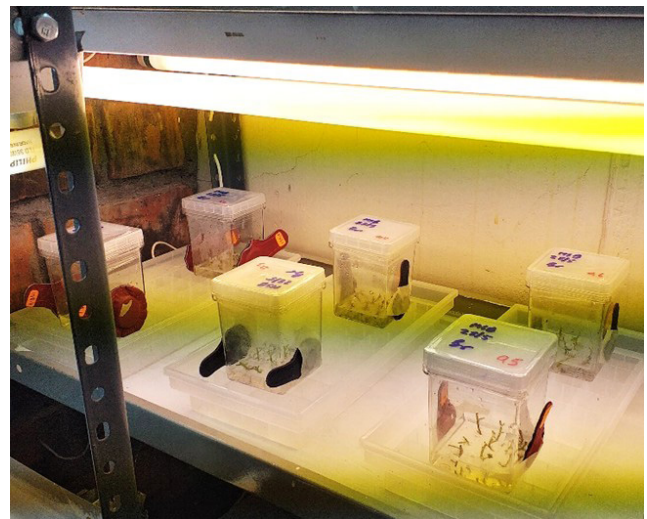


Figura 1. Colocación de los imanes en la parte lateral de los vasos magentas y dispuestos de acuerdo con el diseño experimental respectivo.

Secciones nodales fueron colocadas en medios de cultivo de crecimiento y desarrollo, para la obtención de esquejes de 8 cm de largo, a partir de los cuales se obtuvieron segmentos nodales y fueron colocados en número de seis en vasos de magenta con medio de crecimiento y desarrollo para ser sometidos a los ensayos respectivos. Las intensidades de los CMs fueron obtenidas empleando imanes de neodimio, confirmando la intensidad con el Gaussímetro digital marca Lutron, modelo MG-3002, resolución de 0,01/0,1

mT. Los imanes fueron colocados en la parte lateral del vaso de magenta siguiendo el planteamiento del diseño experimental (Figura 1).

Se realizaron dos experimentos para evaluar el efecto de los CMs en la respuesta morfológica de secciones nodales de ES de *Rubus* spp. El primer experimento se realizó para evaluar el efecto de intensidad de los CMs sobre la respuesta morfológica en los segmentos nodales, empleando dos intensidades 100 y 200 mT comparadas con el control (0 mT). El segundo experimento se realizó para evaluar el efecto de la duración de la exposición del CM de 200 mT en cuatro periodos: 0, 7, 14 y 21 días. Las secciones nodales colocadas en los vasos de magenta fueron sometidas a condiciones similares de crecimiento, empleando temperatura de 24 ± 2 °C, irradiancia de $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y fotoperiodo 16/8 horas (día/noche).

La evaluación del efecto de los CMs en las ES de *Rubus* spp. Sobre la respuesta morfológica de plántulas de *in vitro* se empleó un diseño completamente al azar en arreglo factorial. El primer experimento evaluó la intensidad de los CMs abarcando los factores, Factor A: dos ES de *Rubus* spp., Factor B: tres CMs que incluyen el control. El segundo experimento evaluó la duración de los CMs abarcó los factores, Factor A: dos ES de *Rubus* spp., Factor B: tres periodos de duración del CM 200 mT que incluyen el control. Ambos experimentos estuvieron conformados por cuatro repeticiones, cada repetición con seis segmentos nodales. Las comparaciones de medias fueron realizadas con la prueba Tukey a $P \leq 0.05$. El ANOVA de dos factores analizó los efectos combinados de los factores. Los caracteres morfológicos fueron realizados mediante el análisis de los componentes principales. Los resultados 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 4.1.2.

Resultados

Para la evaluación del efecto de la intensidad y la duración de los CMs sobre la respuesta morfológica y fisiológica en plántulas de *Rubus* spp. se evaluaron variables morfológicas (número de brotes, longitud de brotes, porcentaje de inducción de raíces, número de raíces y longitud de raíces) y fisiológicas (peso fresco y peso seco), siendo las variables longitud de brotes e inducción de raíces las que permitieron identificar el efecto de la intensidad y la duración de los CMs.

Efecto de intensidad de los CMs sobre la respuesta morfológica en los segmentos nodales

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 campos magnéticos en la respuesta morfológica en las dos ES de *Rubus* spp. La longitud de brote registró diferencias significativas en los tipos de ES, siendo que el Z001 mostró mayor longitud de brote en comparación con el Z005. En tanto, en la intensidad de 100 y 200 mT no registraron diferencias significativas (Figura 2a). La inducción de raíces mostró diferencias significativas en las intensidades de los CMs, siendo que la ES Z001 mostró diferencias significativas en el porcentaje de inducción de raíces en las intensidades de 100 mT y 200 mT en comparación con el control. En tanto, la ES Z005 mostró solo diferencias significativas en el porcentaje de inducción de raíces en la intensidad de 200 mT (Figura 2b).

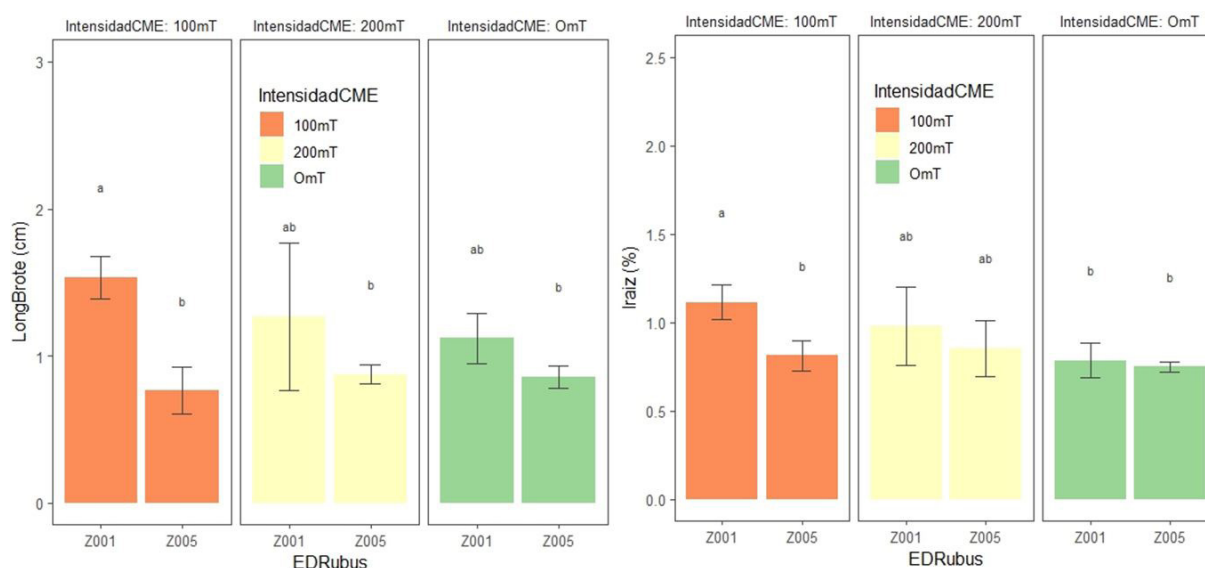


Figura 2. Efecto de la intensidad de los CMs sobre las respuestas morfológicas en segmentos nodales de ES de *Rubus* spp. Z001 y Z005. a) longitud de brote, b) porcentaje de inducción de raíz. IntensidadCME (intensidad de campo magnético estacionario); ESRubus (especie silvestre de *Rubus*).

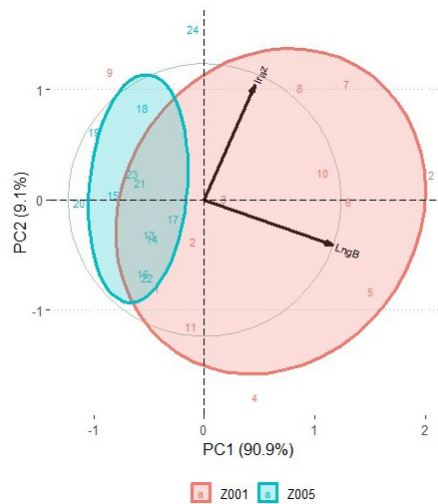


Figura 3. Análisis de los componentes principales del nivel de la intensidad de los CMs sobre las respuestas morfológicas en segmentos nodales de ES de *Rubus* spp. Z001 y Z005. Iraz (inducción de raíz); LngB (longitud de brote).

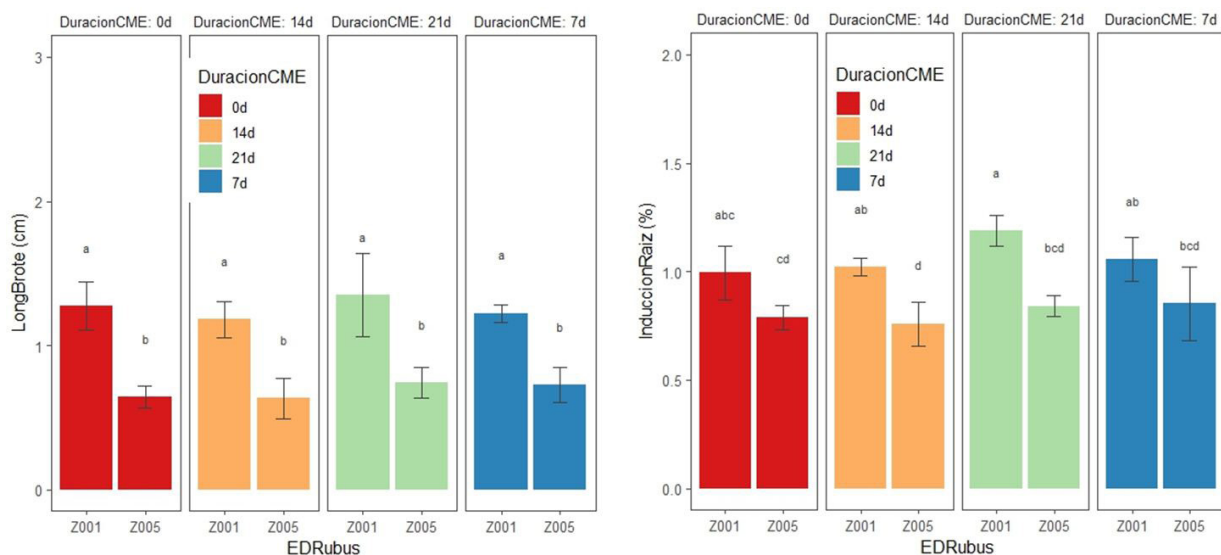


Figura 4. Efecto de la duración de la exposición a la intensidad de CMs de 200 mT sobre las respuestas morfológicas en segmentos nodales de ES de *Rubus* spp. Z001 y Z005. a) longitud de brote, b) porcentaje de inducción de raíz. DuracionCME (periodo de duración del campo magnético estacionario); ESRubus (especie silvestre de *Rubus*).

El análisis de los componentes principales del nivel de la intensidad de los CMs elaborado con los datos de las respuestas morfológicas en las ES de *Rubus* spp. muestran que la PC1 y PC2 explican el 93,7% de la varianza total (Figura 3). Los resultados muestran que la longitud de brote presentó alta y significativa correlación con la PC1 ($P < 0,05$, $r = 0,93$); la inducción de raíz mostró una alta y significativa correlación con la PC2 ($P < 0,05$, $r = 0,93$).

Efecto de la duración de la exposición del CM de 200 mT sobre la respuesta morfológica en los segmentos nodales

En la Figura 4 se visualiza la prueba de comparación de medias de las variables que permitieron identificar el efecto de la duración de los campos magnéticos en la respuesta morfológica en las dos ES de *Rubus* spp. La longitud de brote registró diferencias

significativas en los tipos de ES, siendo que Z001 mostró mayor longitud de brote en comparación con Z005. En tanto, la duración de los CMs no registró diferencias significativas (Figura 4a). La inducción de raíces mostró un efecto por la duración de los CMs, solo en la ES Z005 siendo significativa la prueba. En tanto, el tipo de ES mostró diferencias significativas en la duración de la exposición de los CMs, siendo la ES Z001 la que registró mayor porcentaje de inducción de raíces adventicias (Figura 4b).

El análisis de los componentes principales del efecto de la duración de la exposición a la intensidad del CMs de 200 mT elaborado con los datos de las respuestas morfogénicas en las ES de *Rubus* spp. muestran que la PC1 y PC2 explican el 95,8% de la varianza total (Figura 5). Los resultados muestran que la longitud de brote presentó una alta y significativa correlación con la PC1 ($P < 0,05$, $r = 0,92$), la inducción de raíz mostró una alta y significativa correlación con la PC2 ($P < 0,05$, $r = 0,92$).

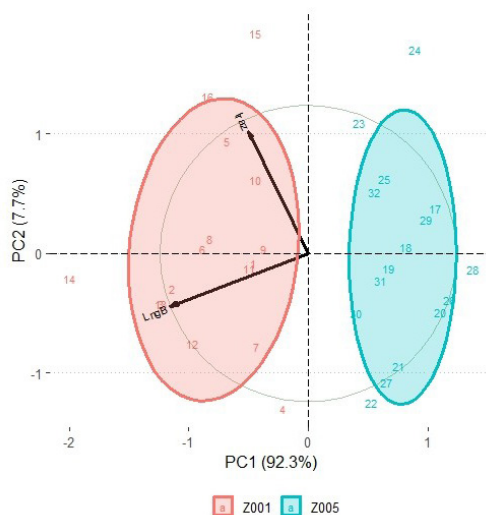


Figura 5. Análisis de los componentes principales del efecto de la duración de la exposición a la intensidad del CME de 200 mT sobre las respuestas morfogénicas en segmentos nodales de ES de *Rubus* spp. Z001 y Z005. Iraz (inducción de raíz); LngB (longitud de brote).

Discusión

Los reportes concernientes a los efectos de los CMs sobre los parámetros de desarrollo de plántulas *in vitro* del género *Rubus* spp. no se encuentran disponibles. Los resultados del presente trabajo muestran cómo los parámetros de desarrollo de plántulas *in vitro* principalmente la longitud de brotes y la inducción de raíces adventicias experimentan variación al ser sometidos en diferentes intensidades de los CMs en comparación al control.

Los explantes vegetales cultivados bajo condiciones *in vitro* son adecuados porque sus células interactúan con los mecanismos moleculares impulsados por los campos magnéticos, entre una de las razones por las que las células vegetales tienen ventajas selectivas sobre las plántulas en la comprensión del mecanismo magnético con respecto al crecimiento de las células bajo condiciones controladas, asimismo, de una posible inducción de brotes y raíces adventicias (Narasimhan y Bindu, 2023), en particular, la exposición a los campos magnéticos posiblemente incrementa la síntesis de

citocininas y auxinas en explantes de *Rubus* spp. propiciando la mayor longitud de brotes e inducción de raíces adventicias.

En el presente estudio la longitud de brotes de la ES Z001 mostró mejor respuesta en comparación con la ES Z005. Similares resultados referente a la mayor longitud de los brotes por efecto de los CMs fueron hallados por Husain y Jawad (2019) en *R. officinalis* al emplear intensidad de los CMs de 200 mT (2000 gauss) en brotes de un centímetro, registrando mayor longitud de brote a los 30 días de cultivo *in vitro*. Yalcili y 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 la ES Z001 podría explicarse por la mayor expansión de la pared celular de las células del tallo, siendo que la intensidad 200 mT de los CMs posiblemente redujo la resistencia de las paredes celulares que permitió la elongación de las células de las plántulas por efecto de presión de turgencia, y de esta manera facilitó el crecimiento

y desarrollo de las plántulas de *Rubus* spp. (Husain y Jawad, 2019). Por otra parte, es probable que el efecto positivo de los CMs 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 como los reportados en arveja y lechuga (Negishi et al., 1999; García y Arza, 2001).

Es conocido que las auxinas tienen un rol importante en la inducción de raíces adventicias, existiendo una relación entre el incremento de las auxinas y la inducción de raíces. Estos eventos podrían explicarse por el rol que juegan las peroxidases en la conexión entre el metabolismo de auxinas (oxidación de las auxinas) y el complejo de la pared celular, así tenemos que plántulas de *Glycine max* experimentaron un efecto positivo por el efecto los campos magnéticos respondiendo en el incremento de las peroxidases que redundó en una mayor inducción de raíces (Atak et al., 2007). Similares eventos también podrían haberse efectuado en los segmentos nodales de *Rubus* que permitió la inducción de raíces sin la presencia de las auxinas en el medio de cultivo, al igual que los registrados en plántulas *Phalaenopsis* (Van et al., 2011), segmentos nodales de *Paulownia* (Çelik et al., 2008), plántulas de *Glycine max* (Atak et al., 2003). Estos hallazgos son importantes, porque las plántulas de *Phalaenopsis* al ser expuestas a intensidades de 100, 200 y 300 mT no mostraron respuesta en la inducción de raíces (Van et al., 2011), similarmente, en *Cymbidium* y *Spathiphyllum* la aplicación de intensidades 100, 150 y 200 mT tampoco mostraron efecto en la inducción de raíces adventicias (Van et al., 2012). En tanto, en plántulas de *Genista aetnensis* al ser expuesta a 150 mT por 4 minutos registró el mayor porcentaje de enraizamiento en medio basal MS más vitaminas, pero suplementado con 0,5 mg/L de ácido indolacético (Airò et al., 2017). En el presente estudio se logró inducir raíces adventicias en el medio de cultivo de crecimiento y desarrollo sin reguladores de crecimiento, siendo uno de los hallazgos más sobresalientes en el presente trabajo, porque posiblemente los campos magnéticos estimularon el nivel interno de auxinas. Estos hallazgos son importantes porque a futuro se podría aplicar para la producción sostenible de plántulas *in vitro* de esta especie.

Conclusiones

El protocolo desarrollado en el presente trabajo permitió el crecimiento y desarrollo de plántulas *in vitro* de dos especies domesticadas de *Rubus* spp. sometidos a intensidades de los CMs. El efecto de la intensidad y la duración de los CMs en la respuesta morfogénica de dos ES de *Rubus* spp. permitió identificar el efecto de los CMs en la respuesta morfogénica como la longitud

de brotes e inducción de raíces adventicias, donde la ES Z001 mostró mejor respuesta en comparación con la ES Z005. Los resultados son adecuados porque podría ser utilizados a futuro para reducir la dependencia de los reguladores de crecimiento como ANA o AIB para la inducción de raíces adventicias en especies de *Rubus* spp. que aportaría en la producción sostenible de plántulas *in vitro*.

Referencias

- 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. 3.
- 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.
- Atak, Ç., Emiroğlu, Ö., Alikamanoğlu, S. & Rzakoulieva, A. (2003). Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merril) tissue cultures. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 2(1), 113-119.
- Atak, Ç., Çelik, Ö., Olgun, A., Alikamanoğlu, S., & 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 vean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Breeding and Seed Science*, 77, 103-116.
- Çelik, Ö., Atak, Ç., & Rzakoulieva, A. (2008). Stimulation of rapid regeneration by a magnetic field in Paulownia node cultures. *Journal of Central European Agriculture*, 9(2), 297-304.

- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- Kefayeti, S., Kafkas, E., & Ercisli, S. (2019). Micropropagation of 'Chaster thornless' blackberry cultivar using axillary bud explants. *Not Bot Horti Agrobo*, 47(1), 162-168.
- Maffei, M.E. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5, 445.
- Madhavan, J., & Anand, A. (2018). Exposure to magnetic fields reveals a positive effect on in vitro propagation of *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *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 pavina* 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.
- Samaan, M.S.F. & Nasser, M.A. (2022). Micropropagation of blackberry (*Rubus fruticosus*) cv. Karaka Black. *Egyptian Journal of Horticulture*, 49(2), 187-198.
- Sarraf, M., Kataria, S., Taimourya, H., Santos, L.O., Manegatti, R.D., Jain, M., Ihtisham, M. & Liu Shiliang. (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.
- 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. y 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.
- Wu, J., Miller, S.A., Hall, H.K. y 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.
- Yaycili, O. & Alikamanoglu, S. (2005). The effect of magnetic field on *Paulownia* tissue cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 83: 109-114.