

Comparación del efecto de diferentes intensidades de campo eléctrico en la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*)

Comparison of the effect of different electric field strengths on cucumber (*Cucumis sativus*) seed germination

Luis Ángel Rodríguez Montelongo, Cassandra Michelle Valdés Caudillo, Yunuen Salazar Vargas, Karla Itzel Ramírez Ramírez, Ana Lizbeth Arredondo Hernández, Andrea Guadalupe Caudillo Rodríguez, Regina Fernández Cabrera, Jesús René Báez Espinoza, María Jesús Puy Y Alquiza, Berenice Noriega Luna

División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato
berenice.noriega@ugto.mx

Resumen

En este estudio, se analizó el efecto de campos eléctricos en la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus*) con el objetivo de identificar la intensidad de campo óptima que promueva la germinación y la emergencia de plantas en un tiempo reducido, sin provocar alteraciones significativas en los procesos y estructuras celulares fundamentales. Para alcanzar este propósito, se diseñó un sistema de electrocultivo utilizando alambre de cobre para generar campos eléctricos de baja intensidad en diferentes rangos (0.4, 0.5, 0.8, 1.0 y 1.2 V/cm). Los resultados obtenidos muestran que el campo eléctrico ejerce un impacto sustancial en varios aspectos clave del desarrollo de las plantas de pepino, como la germinación, el crecimiento del sistema radicular, el desarrollo del área foliar y grosor del hipocótilo. Estos efectos observados en cada parámetro analizado resaltan la importancia de considerar la influencia de la estimulación eléctrica en diferentes etapas del crecimiento vegetal. En consecuencia, los hallazgos presentados en este estudio proporcionan información valiosa y perspicaz sobre el potencial impacto de la estimulación eléctrica en el desarrollo de las plantas, ofreciendo nuevas perspectivas sobre cómo esta técnica puede modular y mejorar varios aspectos del crecimiento vegetal de manera controlada y eficaz.

Palabras clave: electrocultivo, pepino, germinación.

Introducción

Diferentes estudios han demostrado que la aplicación de energía eléctrica, energía magnética, luz monocromática y sonido estimulan el crecimiento de las plantas (Acosta, 2018). Estas formas de estimulación modifican el metabolismo celular, lo que influye en el desarrollo del tallo, las hojas y el sistema radicular de las plantas (Li, Gou and Li, 2019). Varios estudios respaldan estos efectos, incluidos los realizados por destacados investigadores en el pasado. Por ejemplo, el zoólogo, político y músico francés Bernard-Germain-Étienne de La Ville-sur-Ilлон llevó a cabo ensayos poco convencionales en la década de 1780, observando que las semillas electrificadas germinaban más rápido y los bulbos brotaban con más vigor al regar las plantas con agua "impregnada de fluido eléctrico". Por otro lado, el físico Abbé Pierre Bertholon, conocido por su experiencia en campos eléctricos en la salud humana, se centró en la vida vegetal. En 1783, desarrolló un electrovegetómetro que estimulaba las plantas con impulsos eléctricos atmosféricos, lo que resultó en un mejor desarrollo general de las plantas (Bertholon 1783). Un contexto similar se presenta en los experimentos realizados por el geofísico finlandés Selim Laemstrom en 1885, quien utilizó un sistema con una antena horizontal suspendida lo suficientemente alta para remover la tierra, impulsado por un generador electrostático de alto voltaje llamado Wimhurst y jarras de Leyden. Demostró que la descarga eléctrica estimulaba el rendimiento en los cultivos de frambuesas y zanahorias, con incrementos significativos del 95% y 125% respectivamente. No obstante, observó que los cultivos de repollo, nabos y lino mostraban un crecimiento más favorable sin electrificación. En 1960, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) llevó a cabo pruebas mediante la aplicación de un campo eléctrico con corriente continua, colocando un electrodo negativo en la parte alta de un árbol y un electrodo positivo en la base. Después de un mes de estimulación, se observó un aumento en la densidad de las hojas y, tras un año, un incremento significativo del follaje en las ramas del 300% (Wiley and Sons, 1972).

La electrocultura engloba un conjunto de técnicas que buscan aplicar estímulos eléctricos para acelerar la germinación de semillas, favorecer el desarrollo de las plantas y potenciar la síntesis de metabolitos

secundarios (Goldsworthy, 2008). Uno de los aspectos más convincentes de la electrocultura es su enfoque ecológico al reducir la dependencia de fertilizantes y pesticidas químicos. En este sentido, la electrocultura se alinea perfectamente con la tendencia global hacia prácticas agrícolas sostenibles. Su impacto es significativo en la reducción de la huella ambiental en la agricultura, la preservación de la biodiversidad y la promoción de la salud del planeta.

En estudios recientes que aplican campos eléctricos en semillas diversas, se ha observado un interés creciente en investigar el efecto de la estimulación eléctrica en la germinación y el crecimiento de diferentes tipos de semillas. Estas investigaciones han demostrado que la aplicación de campos eléctricos puede influir positivamente en la velocidad de germinación, la calidad de las plántulas y diversos aspectos del desarrollo vegetal. Además, se ha encontrado que la estimulación eléctrica puede mejorar la absorción de nutrientes, la resistencia al estrés ambiental y la productividad de las plantas. Estos estudios destacan el potencial de los campos eléctricos como una herramienta prometedora para optimizar el rendimiento de los cultivos y fomentar un crecimiento saludable de las plantas en diversas condiciones. A través de diversos estudios recientes centrados en la estimulación eléctrica de semillas de pepino (*Cucumis sativus*), se han obtenido resultados prometedores que destacan los beneficios de esta innovadora técnica. El estudio realizado por Morales et al. (2021a) revela que la aplicación de campos eléctricos en semillas de pepino condujo a una tasa de germinación más alta, alcanzando un 50% en el electrocultivo en comparación con el 30% en el cultivo convencional. Asimismo, la investigación de Morales et al. (2021b) demostró que la estimulación eléctrica aceleró la germinación de las semillas de pepino en un 59% en un suelo tipo antrosol, resaltando mejoras en propiedades fisiológicas de las plantas y en la microbiota del suelo. Por otro lado, el estudio de Atmaca et al. (2021) aborda el uso de campos eléctricos pulsados (PEF) como alternativa para el tratamiento de semillas de pepino, logrando mejoras significativas en la tasa de germinación, resistencia al estrés salino y reducción de la microflora superficial. Por último, el estudio de Pimentel et al. (2018) describe un protocolo para aumentar la germinación y el crecimiento del pepino mediante la aplicación de un campo eléctrico con superficies modificadas, obteniendo resultados positivos en el desarrollo de las plantas. Estos hallazgos enfatizan el potencial de la estimulación eléctrica en la mejora de la producción agrícola y la sostenibilidad en la agricultura moderna.

El cultivo de pepino en México destaca por su relevancia en varios aspectos. Este vegetal es ampliamente consumido en la dieta mexicana, ofreciendo una fuente nutricional rica en vitaminas y minerales esenciales. Asimismo, la producción de pepino no solo impulsa el empleo en el sector agrícola, sino que también desempeña un papel fundamental en la economía nacional, tanto a nivel interno como en la exportación de productos agrícolas. La implementación del electrocultivo en el cultivo de pepino en México se torna esencial por diversas razones. En primer lugar, esta innovadora técnica puede potenciar la productividad y la calidad de los cultivos de pepino. Los beneficios demostrados del electrocultivo incluyen el incremento en la tasa de germinación, la aceleración del crecimiento de las plantas y la mejora de su resistencia ante el estrés ambiental, lo que conllevaría a cosechas más abundantes y sanas. Adicionalmente, el empleo del electrocultivo podría reducir la necesidad de productos químicos en la agricultura, fomentando prácticas más sostenibles y amigables con el entorno. Al reducir la dependencia de pesticidas y fertilizantes químicos, se podría mitigar los efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, promoviendo así un cultivo de pepino más saludable y respetuoso con la naturaleza. La aplicación del electrocultivo en el cultivo de pepino en México resultaría crucial para potenciar la productividad, mejorar la calidad de los cultivos y promover prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque no solo beneficiaría a los productores y consumidores de pepino, sino que también contribuiría al avance de una agricultura más sustentable en el país. Por lo tanto, el objetivo del trabajo es analizar la viabilidad de aplicar el electrocultivo en semillas de pepino.

Metodología

Para el desarrollo del electrocultivo, se implementó la siguiente metodología:

- a) **Selección de semillas:** Para la experimentación, se emplearon semillas de pepino (*Cucumis sativus*) de la marca Vita®, las cuales fueron seleccionadas considerando criterios como tamaño y grosor, asegurando la integridad sin daños físicos notables, como roturas o deformaciones. Una vez elegidas las semillas apropiadas, se sometieron a un lavado para desinfectarlas y prevenir plagas durante el experimento. Para ello, se esterilizaron con una solución al 5% de hipoclorito sódico durante 15 minutos, seguido de un enjuague con agua destilada.

- b) **Diseño del Sistema de Estimulación:** los experimentos se llevaron a cabo utilizando corriente directa (CD) para generar campos eléctricos de baja intensidad (0.4, 0.5, 0.8, 1.0 y 1.2 V/cm) y alambre de cobre. Se utilizó un recipiente de plástico de dimensiones 18x27cm que contenía 1000 g de suelo, que previamente fue tamizado para eliminar rocas y raíces (*Figura 1*). Posteriormente, el suelo se hidrató con una relación de 40% de agua. El pH y la conductividad eléctrica del suelo fueron de 5.3 y 474 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente. Las semillas se sembraron en filas de 6 semillas cada una, con una separación de 2 cm entre ellas, dentro del espacio entre los electrodos y a una profundidad en la tierra de aproximadamente 2.5 cm.

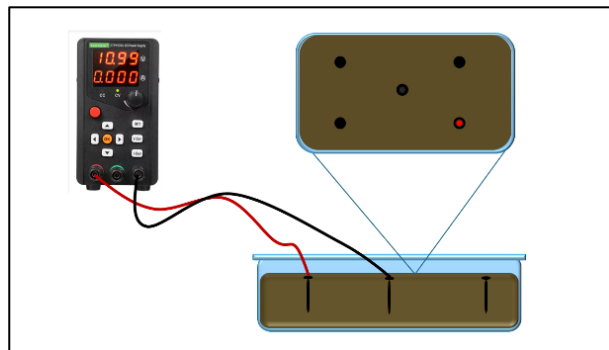


Figura 1. Diseño del electrocultivo. Fuente: Elaboración propia

- c) **Aplicación de la Estimulación:** Tras la siembra de las semillas en el suelo, se dio un tiempo de adaptación de 24 horas a una temperatura de 25°C, periodo de vernalización. Posteriormente, los electrodos se conectaron a una fuente de alimentación para iniciar la estimulación eléctrica. Cada grupo de semillas fue expuesto a su respectivo campo eléctrico durante 4 horas. Tras la exposición, los cultivos se mantuvieron a 25°C y 50% de humedad durante 12 días. Además, se instalaron lámparas LED de luz blanca suspendidas a 50 cm sobre los cultivos, las cuales permanecieron encendidas durante 8 horas al día, simulando un ciclo de iluminación natural (*Figura 2*). También se incluyó un grupo control al inicio del experimento, consistente en semillas sin exposición al campo eléctrico exógeno.

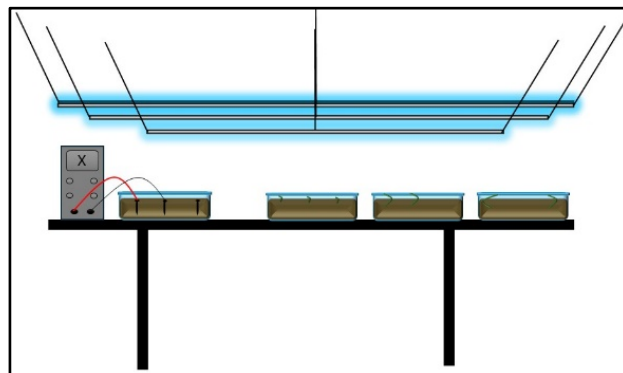
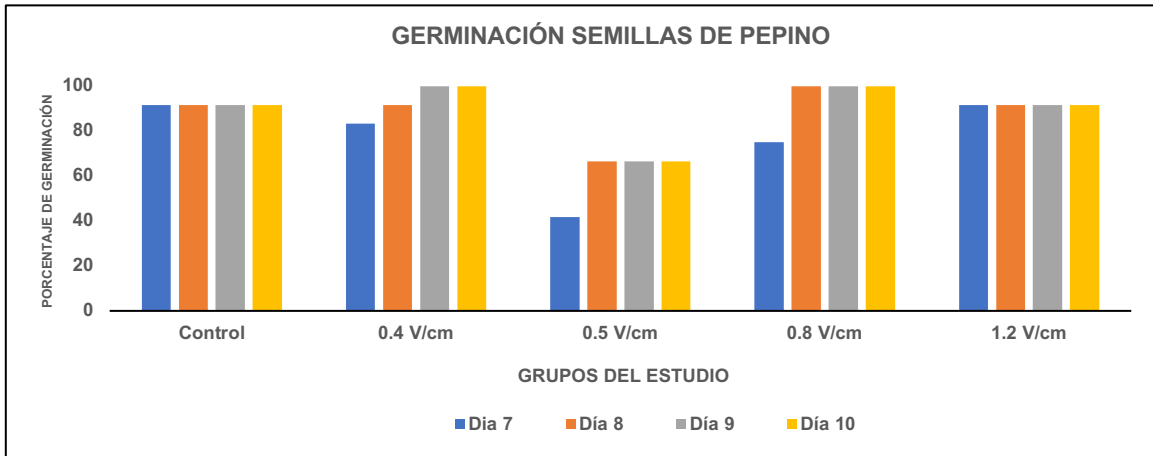


Figura 2. Sistema de germinación. Fuente: Elaboración propia

- d) **Evaluación de los Resultados:** Para investigar los efectos de los campos eléctricos en los procesos de germinación de semillas y emergencia de plántulas, se analizaron varios parámetros clave. Se evaluó el porcentaje de germinación para comparar la eficacia de la germinación bajo la influencia de los campos eléctricos con el grupo de control. Además, se examinó el desarrollo del sistema radicular en términos de longitud y ramificación, el crecimiento del área foliar para comprender la influencia en la fotosíntesis, y el desarrollo del hipocótilo para observar posibles cambios en la estructura de las plántulas. Asimismo, se midió el contenido de clorofila como indicador de la salud y la eficiencia fotosintética de las plantas con la técnica de Lichtenthaler & Buschmann (2001). Estos análisis detallados proporcionaron información crucial sobre cómo los campos eléctricos afectan el crecimiento inicial de las plántulas y los procesos de germinación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el porcentaje de germinación de las semillas de pepino a partir del séptimo día de cultivo, se observó que las semillas expuestas a un campo eléctrico de 0.4 V/cm alcanzaron una germinación del 100% en el noveno día. En contraste, las semillas bajo un campo de 0.8 V/cm lograron el mismo porcentaje en el octavo día, mientras que las expuestas a 0.5 y 1.2 V/cm mostraron germinaciones máximas del 65% y 90% respectivamente en el octavo día. Por otro lado, las semillas del grupo control, sin exposición al campo eléctrico, alcanzaron un máximo del 92% en el séptimo día, manteniéndose constante (*Gráfica 1*). Estos resultados indican que el campo eléctrico de 0.8 V/cm acelera significativamente el proceso de germinación en las semillas de pepino, este resultado coincide con el trabajo de Pimentel et al., 2018.



Gráfica 1. Porcentaje de germinación de semillas de pepino en los grupos control y expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 V/cm durante un periodo de cultivo de 10 días.

En la *figura 3* se muestran los cultivos de las semillas de pepino en el día 9. Se puede apreciar que en todos los cultivos se observan plántulas con características similares. También es evidente que cada contenedor tiene un número diferente de plántulas, lo que está en concordancia con la información proporcionada en la *gráfica 1*.

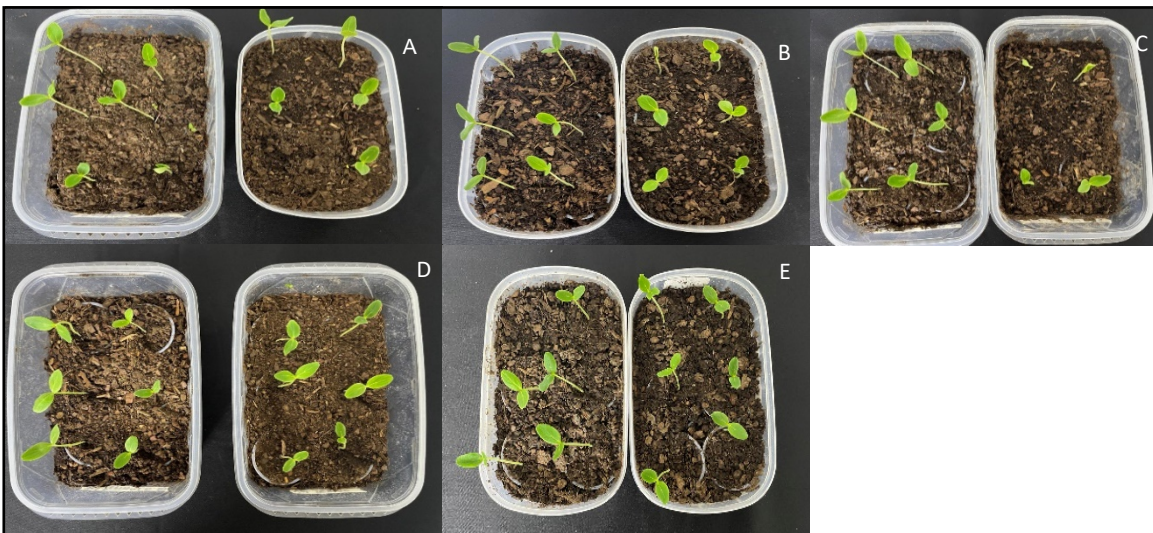
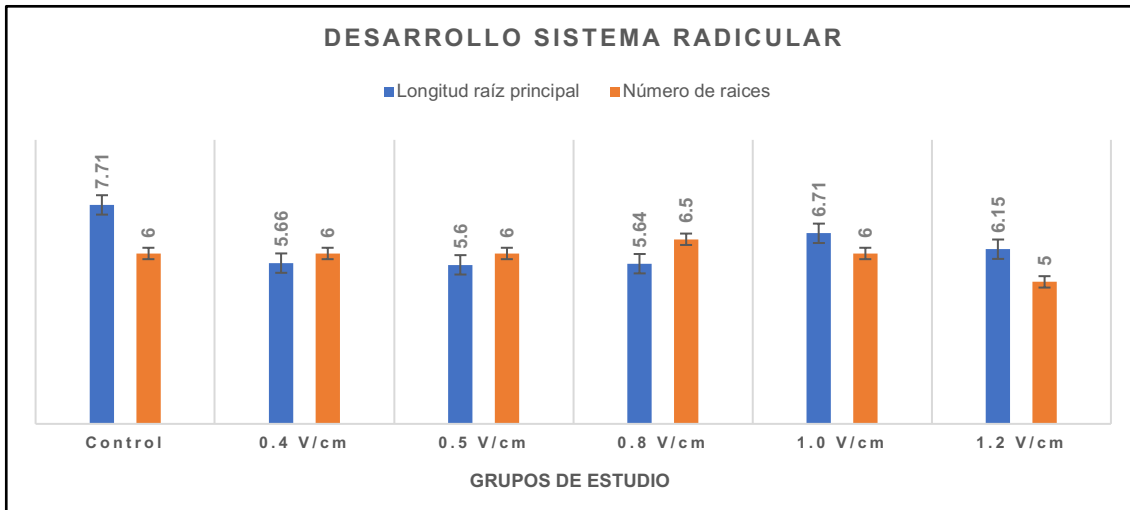


Figura 3. Plántulas de pepino en el grupo control (A) y expuestas a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 (B, C, D, E) V/cm durante un periodo de cultivo de 9 días.

En relación al desarrollo del sistema radicular en los distintos tratamientos, se observó que el grupo de semillas expuesto al campo eléctrico de 1.0 V/cm mostró una raíz principal de 6.7 cm de longitud. En contraste, el grupo control presentó una longitud promedio de raíz de 7.7 cm. Los demás tratamientos con intensidades de campo eléctrico de 0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 V/cm mostraron longitudes de raíz promedio que variaron entre 5.6 y 6.2 cm. Estos resultados indican un impacto negativo en el desarrollo de la raíz principal debido a la exposición al campo eléctrico. En cuanto al número de raíces secundarias, se observó que el grupo expuesto a 1.2 V/cm presentó un menor número de raíces, mientras que el grupo estimulado con 0.8 V/cm mostró un ligero incremento en comparación con otros grupos, incluido el control (*Gráfica 2*).



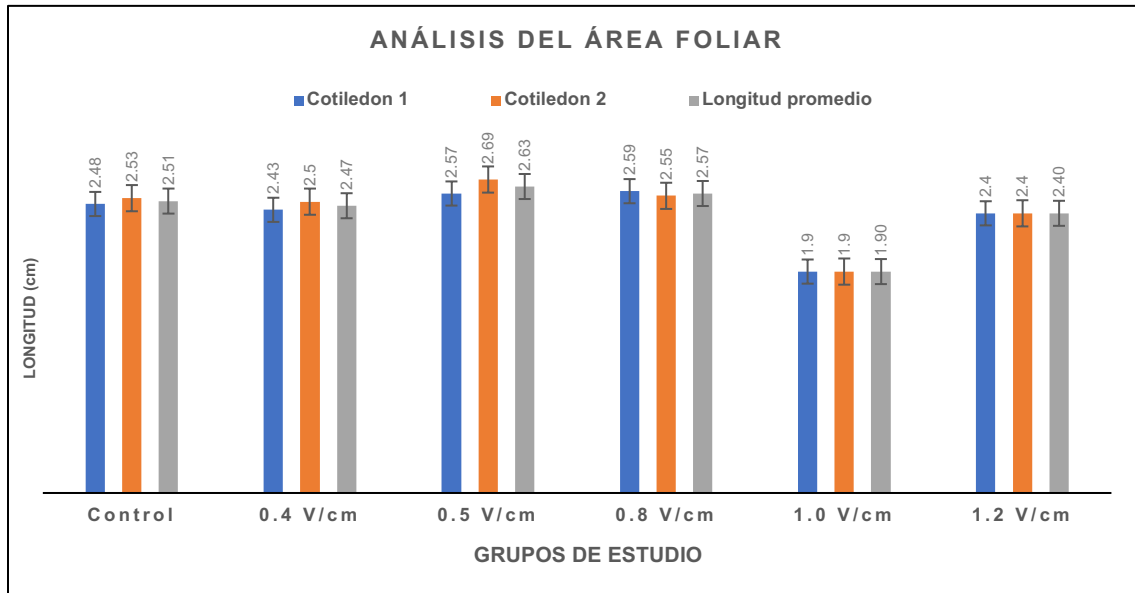
Gráfica 2. Desarrollo del sistema radicular de las plántulas de pepino en los grupos control y expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8, 1.0 y 1.2 V/cm durante un período de cultivo de 12 días.

En la *figura 4* se visualiza el sistema radicular de las plántulas provenientes de las semillas que germinaron en el grupo control y en los grupos expuestos a campos eléctricos. A través de representaciones gráficas, se destacan las diferencias en longitud, ramificación y desarrollo del sistema radicular entre los distintos grupos. Esta representación visual facilita la observación detallada de cómo la estimulación eléctrica impacta el sistema radicular de las plantas en comparación con el grupo de control.



Figura 4. Sistema radicular de las plántulas de pepino en el grupo control (A) y expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 (B, C, D, E) V/cm durante un período de cultivo de 12 días.

En relación al desarrollo del área foliar de las plantas en distintos tratamientos, se observó que el grupo de semillas expuesto al campo eléctrico de 0.5 V/cm mostró un mejor desarrollo de sus hojas, con un promedio de longitud de cotiledones de 2.63 cm, ligeramente mayor que el grupo control, que presentó una longitud promedio de 2.51 cm. Por otro lado, el grupo expuesto a 1.0 V/cm presentó una longitud promedio de cotiledones de 1.9 cm, siendo este el valor más bajo. En cuanto a los demás grupos de estudio con tratamientos de 0.4, 0.8 y 1.2 V/cm, se registraron promedios de longitud de cotiledones 2.47 cm, 2.57 cm y 2.40 cm, respectivamente (Gráfica 3). Estos resultados indican que no se evidencia un efecto negativo en el desarrollo del área foliar cuando las semillas se exponen a campos eléctricos.



Gráfica 3. Desarrollo del área foliar de las plántulas de pepino en los grupos control y expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8, 1.0 y 1.2 V/cm durante un período de cultivo de 12 días.

En la figura 5 se observan cinco grupos de estudio: un grupo de control y cuatro grupos expuestos a diferentes intensidades de campo eléctrico (0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 V/cm). Se destaca que en todos los grupos de estudio se evidencia el desarrollo de los cotiledones, pero no se observa la presencia de hojas verdaderas. Esta observación sugiere que la exposición a las diferentes intensidades de campo eléctrico ha tenido un impacto en el crecimiento inicial de las plántulas, manifestándose en el desarrollo de los cotiledones pero aún no en la formación de hojas verdaderas. La imagen proporciona una comparación visual clara de cómo la estimulación eléctrica afecta el desarrollo inicial de las plántulas en comparación con el grupo de control.

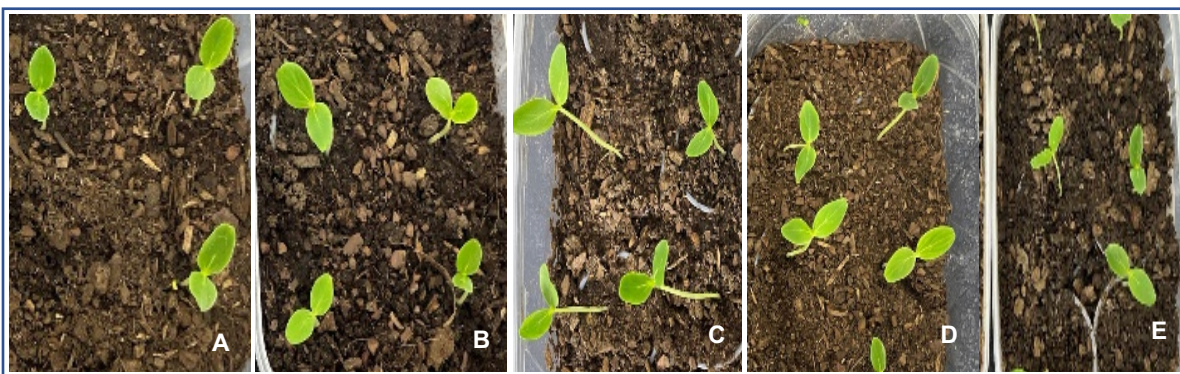
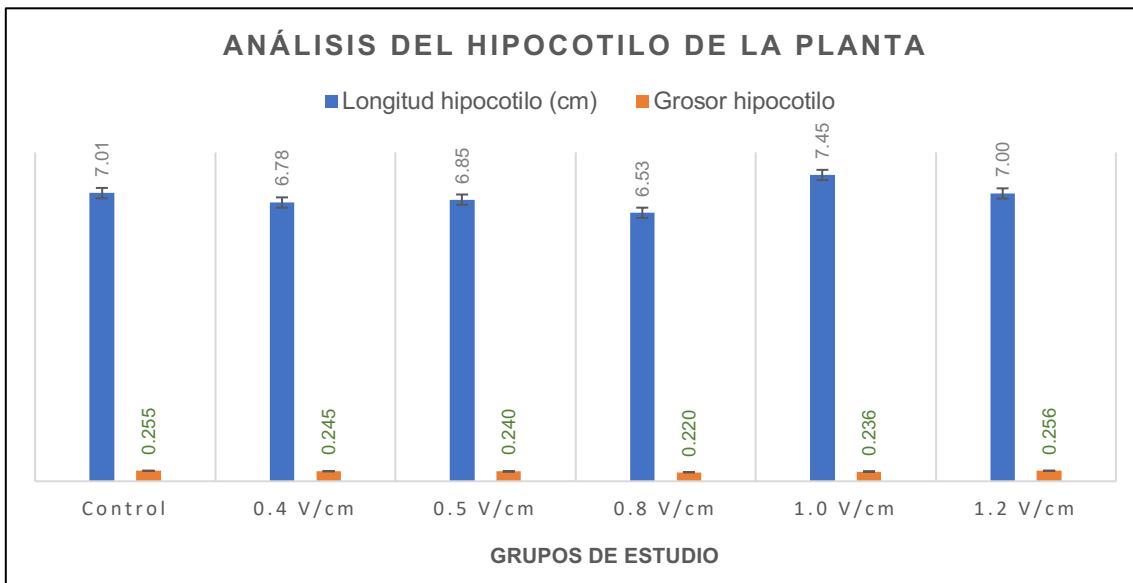


Figura 5. Análisis del área foliar de las plántulas de pepino en el grupo control (A) y expuestas a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 (B, C, D, E) V/cm durante un período de cultivo de 12 días.

Respecto al desarrollo del hipocotilo de las plantas, se determinó lo siguiente: el grupo de semillas estimulado con un campo eléctrico de 1.0V/cm mostró un desarrollo superior en el hipocotilo de la planta, alcanzando una longitud promedio de 7.5 cm a los 12 días de cultivo. En contraste, el grupo control presentó una longitud promedio del hipocotilo de 7.0 cm. Por otro lado, los grupos de semillas expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8 y 1.2 V/cm exhibieron longitudes de hipocotilo comprendidas entre 7 cm y 6.85 cm. Además, se estimó el grosor de los hipocotilos de las plantas, observándose poca variación en este parámetro. Los hipocotilos del grupo de control presentaron un grosor de 0.255 cm, mientras que los grupos expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8, 1.0 y 1.2 V/cm mostraron grosores de 0.245 cm, 0.240 cm, 0.220 cm, 0.236 cm y 0.256 cm respectivamente (Gráfica 4).



Gráfica 4. Análisis del hipocotilo de las plántulas de pepino en los grupos control y expuestos a campos eléctricos con intensidades de 0.4, 0.5, 0.8, 1.0 y 1.2 V/cm durante un período de cultivo de 12 días.

En la figura 6 se muestra cómo se llevó a cabo la medición de las plántulas. En primer plano, se observa una regla o instrumento de medición utilizada para medir la longitud de los hipocotilos de las plántulas. Varias plántulas están dispuestas de manera ordenada en una superficie de trabajo, listas para ser medidas. Además, se aprecia un micrómetro o calibrador de grosores que se utiliza para medir la anchura de los hipocotilos de las plántulas.



Figura 6. Mediciones de los hipocotilos de las plántulas de pepino en el grupo control.

Respecto a la medición del contenido de pigmentos de asimilación en las hojas de las plántulas de pepino, clorofila a (chl a), clorofila b (chl b), y clorofila total (chl a + b), se realizó el día 12 del experimento. El contenido de pigmentos en las hojas del grupo control fue de 6.25 mg/g (chl a), 9.87 mg/g (chl b), y 8.83 mg/g (chl a + b) (Tabla 1). Tras la exposición a las intensidades de campo de 0.4 y 0.8 V/cm, el contenido de clorofila a incrementó un 69% y un 30%, el de clorofila b disminuyó un 22% y un 19%, y el de clorofila a+b incrementó un 31% y un 30%, respectivamente, en comparación con el control. No obstante, en el resto de los tratamientos también se observan modificaciones en el contenido de clorofila. De acuerdo a los contenidos de clorofila a, b y total fue posible determinar que el campo eléctrico de 0.4 V/cm representa un nivel de estrés menor en comparación con las otras condiciones de estímulo, esto en base a que la cantidad de clorofila a es mayor que la de clorofila b. Determinar la clorofila en las hojas de pepino es importante porque la clorofila es el pigmento responsable de la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la luz solar en energía química para crecer. Al medir la cantidad de clorofila en las hojas de pepino, se puede evaluar su salud y su capacidad para realizar la fotosíntesis de manera eficiente. Esto es crucial para los agricultores, ya que les permite monitorear la salud de sus cultivos y tomar medidas para optimizar su crecimiento y producción. Es evidente que la asimilación de pigmentos en las hojas de las plántulas también se ve afectada, positiva o negativamente, por la estimulación eléctrica.

Tabla 1. Contenido de clorofila en hojas de plántulas de pepino (*Cucumis sativus*)

Clorofila (mg/g)	Control	0.4V/cm	0.5V/cm	0.8V/cm	1.0V/cm	1.2V/cm
Clorofila a	6.25	10.54	8.09	8.12	7.05	8.33
Clorofila b	9.87	7.67	9.59	9.94	8.73	8.23
Clorofila a+b	8.83	11.53	6.99	10.5	9.04	11.54

Los resultados de este estudio concuerdan con investigaciones previas sobre la estimulación eléctrica en semillas, mostrando que la estimulación eléctrica puede mejorar la germinación de semillas, el crecimiento de las plántulas y la tolerancia al estrés en diversas especies. El estudio actual, enfocado en el pepino, confirma que la estimulación eléctrica con una intensidad óptima puede aumentar la tasa de germinación y el crecimiento de las plántulas, lo que se ha observado en otros estudios con plantas como trigo, cebada, rábano y tomate (Lynikiene and Pozeliene, 2003; Pittman and Ormrod, 1970; Zhang and Hashinaga, 1997; Vallverdu-Queralt et al., 2012). Sin embargo, el estudio también destaca que la intensidad de la estimulación eléctrica es crucial, ya que una intensidad demasiado alta puede inhibir la germinación y el crecimiento de las plántulas. Esto se ha observado en otros estudios, donde se ha encontrado que la estimulación eléctrica puede tener efectos negativos en la germinación de semillas y el crecimiento de las plántulas si no se aplica correctamente. En general, este estudio aporta evidencia adicional que respalda la idea de que la estimulación eléctrica puede ser una herramienta útil para mejorar la producción de cultivos. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para comprender completamente los mecanismos subyacentes y para optimizar las condiciones de aplicación de la estimulación eléctrica para diferentes especies y condiciones ambientales.

Conclusión

En este proyecto de investigación, se observó que la aplicación de campos eléctricos puede estimular la germinación de pepino (*Cucumis sativus*), mostrando una mejor respuesta en los campos de 0.4 y 0.8 V/cm, evidenciado por un mayor porcentaje de germinación. Sin embargo, al analizar otros parámetros como el desarrollo radicular, el control mostró mejores resultados, mientras que el desarrollo foliar se vio favorecido por un campo eléctrico de 0.5 V/cm. Estos hallazgos confirman que los electrocultivos aceleran la germinación y sus aspectos fisiológicos, pero también resaltan la importancia de un control adecuado de otros factores como la temperatura, el pH y la salinidad del suelo para optimizar la germinación. Esta técnica, además de acelerar la germinación, presenta un gran potencial para reducir el uso de fertilizantes químicos y el consumo de agua, convirtiéndose en una alternativa eficiente para la producción agrícola, especialmente en épocas de sequía.

Bibliografía/Referencias

1. Acosta Santoyo, G. (2018). Evaluación de la aplicación de un campo eléctrico para la estimulación de la germinación y desarrollo de plantas con metabolismo C3, C4 y CAM empleando un arreglo de electrodos 1D y 2D (Tesis de doctorado). Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C
2. Atmaca, B., Evrendilek, G. A., Bulut, N., & Uzuner, S., 2021. Unrevealing the impact of pulsed electric fields (PEF) on cucumber seed vigour and surface disinfection. *The EuroBiotech Journal* 5(4):180-193. <https://doi.org/10.2478/ebtj-2021-0027>
3. Bertholon, M. l'abbé (Pierre) (1783) De l'électricité des végétaux: Ouvrage dans lequel on Traite de l'électricité de l'atmosphère sur les plantes, de ses Effets Sur l'économie des végétaux, de Leurs Vertus Médico & Nutritivo-électriques, & principalement des moyens de pratique de l'appliquer utilement à l'agriculture. Paris: P.F. Didot jeune.
4. Goldsworthy, A., 2008. Effects of Electrical and Electromagnetic Fields on Plants and Related Topics. In *Plant Electrofisiology, Theory and Methods*. Pp. 247–265.
5. Li, Z.-G., Gou, H.-Q., & Li, R.-Q., 2019. Electrical stimulation boosts seed germination, seedling growth, and thermotolerance improvement in maize (*Zea mays L.*). *Plant Signal Behav.*, 14(12):1681101. <https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1681101>
6. Lichtenthaler HK, Buschmann C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, F4.3.1-F4: 1-8.
7. Lynikiene, S., Pozeliene, A., 2003. Effect of electrical field on barley seed germination stimulation. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript FP 03 007
8. Morales, C., Solís, S., Bacame, F. J., Reyes-Vidal, M. Y., Manríquez, J., & Bustos, E., 2021a. Electrical stimulation of *Cucumis sativus* germination and growth using IrO₂-Ta₂O₅/Ti anodes in Vertisol pelic. *Applied Soil Ecology*. 2021(103864).
9. Morales, C., Solís, S., Bacame-Valenzuela, F. J., Reyes-Vidal, Y., Cárdenas, J., Manríquez, J., & Bustos, E., 2021b. Electrical stimulation of *Cucumis sativus* in an Antrosol using modified electrodes with transition metal oxides at the in situ pilot level. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 895:115528.
10. Pimentel, O., Acosta, S., G., Acuña, J., Bustos, E., 2019. Germinación y crecimiento de *Cucumis sativus* aplicando un campo eléctrico empleando superficies modificadas con óxidos de metales de transición. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 10(1), 41-55.
11. Pittman, U.J., Ormrod, D.P., 1970. Physiological and chemical features of magnetically treated winter wheat seeds and resultant seedlings. *Can. J. Plant Sci.* 50, 211.
12. Vallverdu-Queralt, A., Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Lamuela-Raventos, R.M., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., 2012. Effects of pulsed electric fields on the bioactive compound content and antioxidant capacity of tomato fruit. *J. Agric. Food Chem.* 60, 3126–3134.
13. Wiley and Sons, (1972). The effect of electricity on Plant Growth - Лицей № 1535.
14. Zhang, H., Hashinaga, F., 1997. Effect of high electric fields on the germination and early growth of some vegetable seeds. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 66, 347–352.