UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE AGRONOMÍA

Evaluación de la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Pietro

DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO

Autor: Christian Fabricio Telenchana Manobanda

Tutor: Ing. José Hernán Zurita Vásquez

Cevallos-Ecuador

Enero-2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación sobre el tema:

"Evaluación de la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón *(Solanum lycopersicum)* variedad Pietro" del alumno Christian Fabricio Telenchana Manobanda, estudiante de la carrera de Agronomía, considero que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en su totalidad, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo, ante el organismo pertinente para ser sometido a la evaluación de los profesores calificadores designados por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Cevallos, enero 2026



.....

Ing. José Hernán Zurita Vásquez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christian Fabricio Telenchana Manobanda**,** con cédula de ciudadanía No. 1804398525, declaro que los criterios emitidos en el trabajo de titulación**, "Evaluación de la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Pietro"**, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos y conclusiones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de Titulación.

Cevallos, enero 2026



.....

Christian Fabricio Telenchana Manobanda

AUTOR

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación **titulado "Evaluación de la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Pietro"** como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad. Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.

Cevallos, enero 2026



.....

Christian Fabricio Telenchana Manobanda

AUTOR

TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado del Trabajo de Titulación, **"Evaluación de la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum*) variedad Pietro"** de **Telenchana Manobanda Christian Fabricio**, estudiante de la carrera de Agronomía, de la Facultad Ciencias Agropecuarias de conformidad con el Reglamento para la Titulación de Grado para obtener el título terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, una vez revisado y calificado.

Cevallos, enero 2026

Ing. Mg. Zurita Vásquez José Hernán.
TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACION

Para constancia firman:

Ing. Pomboza Tamaquiza Pedro Pablo, PhD.
PRESIDENTE

Ing. Mg. Pallo Paredes Edwin Leonardo.
MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Espinoza Vaca Jorge Santiago, PhD.
MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis queridos padres, Milton y Narcisa, y a mi hermana Erika, quienes con su amor, apoyo y paciencia me han sostenido en cada paso de este camino.

A Dios elevo mi gratitud por iluminarme, darme fuerza en los momentos difíciles y permitirme alcanzar este logro académico muy importante.

Finalmente, dedico también este trabajo a Pamela, por su cariño, comprensión y constante acompañamiento a lo largo de todo mi proceso universitario.

AGRADECIMIENTO

A lo largo de mi formación académica he tenido la dicha de contar con personas que, con su cariño, paciencia y apoyo incondicional, han sido pilares fundamentales en mi vida. Este trabajo no es solo el resultado de mi esfuerzo, sino también de quienes creyeron en mí incluso en los momentos en que yo dudaba. Cada palabra de aliento, cada gesto de comprensión y cada acompañamiento silencioso me dieron la fuerza necesaria para continuar y no rendirme.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres y a mi hermana que han sido unas personas de inspiración y admiración que me han ayudado a esforzarme para poder concluir con ciclo universitario.

A mi familia:
A mis abuelitos que se encuentran aquí Papito Juan, Mamita Aurora, Mamita Enma y Papito Lucho en el cielo quienes han sido las personas que han enseñado a sus hijos a ser unas personas de respeto y admiración gracias a ustedes tengo unos buenos padres que me han enseñado muchos valores y a luchar siempre.

A mis tíos, primos, amigos y padrinos, quienes, con cada palabra de aliento, muestra de cariño y apoyo sincero han contribuido de manera especial para que este logro hoy sea una realidad. Gracias por estar presentes en los momentos más importantes y por impulsarme siempre a seguir adelante.

A la empresa Agriq Agroahorro, en especial a la Ing. Jenny Camacho, a la Mg. Lupe Tobar y a todo el equipo de trabajo, por haberme abierto las puertas, confiar en mis capacidades y brindarme su apoyo durante este proceso. Su calidad humana, disposición y guía han sido fundamentales para mi formación.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA ..... **i**
APROBACIÓN DEL TUTOR ..... **ii**
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... **iii**
DERECHO DE AUTOR ..... **iv**
TRIBUNAL DE GRADO ..... **v**
DEDICATORIA ..... **vi**
AGRADECIMIENTO ..... **vii**
ÍNDICE GENERAL ..... **viii**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **x**
RESUMEN ..... **xi**
ABSTRACT ..... **xii**

INTRODUCCIÓN **1**
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO **4**
1.1. Antecedentes investigativos 4
1.2. Objetivos 15
1.2.1. Objetivo general 15
1.2.2. Objetivos específicos 15

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA **16**
2.1. Materiales y equipos 16
2.2. Métodos 16
2.2.1. Variables de la investigación (dependiente e independientes). 16
2.2.2. Tratamientos 17
2.2.3. Diseño experimental 17
2.2.4. Implementación del Ensayo 18
2.2.5. Recolección de la información 19
2.2.6. Análisis de la información 20

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **21**
3.1. Análisis y discusión de resultados 21
3.1.1. Porcentaje de germinación a los 7 días 21
3.1.2. Porcentaje de germinación a los 14 días 22
3.1.3. Volumen radicular (cm^3) 23
3.1.4. Longitud de la raíz (cm) 25
3.1.5. Longitud del tallo (cm) 26
3.1.6. Grosor del tallo (mm) 28
3.1.7. Número de hojas 30

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **32**
4.1. Conclusiones 32
4.2. Recomendaciones 33

C. MATERIALES DE REFERENCIA **34**
Referencias Bibliográficas 34
Anexos 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Potencial nutricional de los frutos de tomate* 11
Tabla 2. *Minerales y vitaminas que contiene el tomate* 12
Tabla 3. *Taxonomía del cultivo de tomate* 14
Tabla 4. *Tratamientos* 17
Tabla 5. *Diseño experimental* 17
Tabla 6. *Análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación a los 7 días* 21
Tabla 7. *Prueba de Tukey de la variable porcentaje de germinación a los 7 días* ... 22
Tabla 8. *Análisis de varianza de la variable Porcentaje de germinación a los 14 días* 22
Tabla 9. *Prueba de Tukey de la variable Porcentaje de germinación a los 14 días*. 23
Tabla 10. *Análisis de varianza de la variable volumen radicular (cm^3)* 23
Tabla 11. *Prueba de Tukey de la variable volumen radicular (cm^3)* 24
Tabla 12. *Análisis de varianza de la variable Longitud de la raíz (cm)* 25
Tabla 13. *Prueba de Tukey de la variable Longitud de la raíz (cm)* 25
Tabla 14. *Análisis de varianza de la variable Longitud del tallo (cm)* 27
Tabla 15. *Prueba de Tukey de la variable Longitud del tallo (cm)* 27
Tabla 16. *Análisis de varianza de la variable grosor del tallo (mm)* 28
Tabla 17. *Prueba de Tukey de la variable grosor del tallo (mm)* 29
Tabla 18. *Análisis de varianza de la variable número de hojas* 30
Tabla 19. *Prueba de Tukey de la variable número de hojas* 31

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo general evaluar la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum L.)* variedad Pietro, mediante la aplicación de diferentes intensidades y tiempos de exposición al campo eléctrico. La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial 3x3+1 con tres repeticiones, en el cual se combinaron tres tiempos de exposición (5, 10 y 20 minutos) con tres intensidades de campo eléctrico (400, 600 y 800 µT), además de un testigo sin tratamiento. Las semillas se sometieron a un campo eléctrico utilizando una placa durante 5 días con sus respectivas repeticiones, posteriormente se evaluaron variables fisiológicas y morfológicas como el porcentaje de germinación a los 7 y 14 días, la longitud y grosor del tallo, longitud y volumen radicular, y número de hojas. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las variables evaluadas, siendo el tratamiento T1E3 (5 min – 800 µT) el que alcanzó el mayor porcentaje de germinación a los 7 días (60 %), mientras que a los 14 días varios tratamientos lograron el 100%. En cuanto al crecimiento vegetativo, los tratamientos T2E3 (10 min – 800 µT) y T3E2 (20 min – 600 µT) destacaron por promover mayor longitud y grosor del tallo, así como mayor volumen radicular. Finalmente se determinó que la electrocultura aplicada a semillas de tomate mejora significativamente la germinación y el vigor de las plántulas, siendo los tratamientos con mayor intensidad de campo eléctrico (800 µT) y tiempos intermedios o prolongados (10 a 20 minutos) los que producen los mejores resultados fisiológicos y morfológicos.

PALABRAS CLAVES: ELECTROCULTURA, GERMINACIÓN, SEMILLA, TIEMPO, INTENSIDAD DE CAMPO.

ABSTRACT

The general objective of this study was to evaluate the effects of Electroculture on the germination of seeds of the Pietro variety of Kidney Tomato (Solanum lycopersicum L.) by applying different intensities and exposure times to an electric field. The research was conducted using a randomized complete block design in a 3x3+1 factorial arrangement with three replicates. Three exposure times (5, 10, and 20 minutes) were combined with three electric field intensities (400, 600, and 800 μT), in addition to a control group without treatment. The seeds were subjected to an electric field using a plate for 5 days with the respective replicates. Subsequently, physiological and morphological variables were evaluated, including germination percentage at 7 and 14 days, stem length and thickness, root length and volume, and number of leaves. The results showed statistically significant differences in most of the variables evaluated, with treatment T1E3 (5 min – 800 μT) achieving the highest germination percentage at 7 days (60%), while several treatments reached 100% germination at 14 days. Regarding vegetative growth, treatments T2E3 (10 min – 800 μT) and T3E2 (20 min – 600 μT) stood out for promoting greater stem length and thickness, as well as greater root volume. Finally, it was determined that electroculture applied to tomato seeds significantly improves germination and seedling vigor, with treatments using the highest electric field intensity (800 μT) and intermediate or prolonged exposure times (10 to 20 minutes) producing the best physiological and morphological results.

KEYWORDS: ELECTROCULTURE, GERMINATION, SEED, TIME, FIELD INTENSITY.

INTRODUCCIÓN

La germinación de semillas es un proceso biológico importante que garantiza la reproducción y supervivencia de las especies vegetales. Este complejo fenómeno fisiológico se ve influenciado por una combinación de factores internos y externos que regulan la movilización de las reservas almacenadas, la actividad enzimática y la absorción de agua, dichas interacciones permiten la transición de la latencia al crecimiento activo, lo que repercute directamente en el establecimiento de las plántulas, la vitalidad del cultivo y, en consecuencia, en su rendimiento (Urnukhsaikhan et al., 2025).

Dado su papel fundamental en el crecimiento vegetal y la productividad agrícola, la germinación de semillas sigue siendo un punto focal en la investigación fitotecnológica, en particular ante desafíos globales como la seguridad alimentaria y el estrés ambiental. Los cambios ambientales, como inviernos más cortos y patrones de precipitación irregulares, han retrasado cada vez más la germinación y disminuido el rendimiento de los cultivos, lo que plantea desafíos para la biodiversidad y la seguridad alimentaria (Vásquez y Valencia, 2024).

En la actualidad, los sistemas agrícolas sostenibles en todo el mundo buscan tecnologías ambientales compatibles que se apoyen en tratamientos físicos y biológicos con la finalidad de mejorar el vigor de las semillas, favorecer el establecimiento de los cultivos y la optimización de la producción. Si bien, la agricultura contemporánea depende en gran parte de compuestos químicos, la incorporación de factores físicos surge como una alternativa prometedora para incrementar el rendimiento agrícola (Alemán et al., 2020).

Los efectos negativos de la aplicación de productos químicos en la producción agrícola y el medio ambiente son bien conocidos. En este contexto, Ramírez et al (2024), indica que una de las alternativas más prometedoras en el ámbito agrícola es la electrocultura o electrocultivo, una técnica innovadora que aprovecha la electricidad atmosférica y el campo eléctrico para estimular el desarrollo de los cultivos, estos métodos no solo son rentables, sino que también mejoran significativamente el rendimiento sin afectar negativamente al medio ambiente. Su finalidad principal es

potenciar la productividad de la tierra mediante un incremento significativo en los rendimientos y una menor dependencia de la mano de obra agrícola, todo ello bajo un enfoque sostenible que prescinde del uso de productos químicos.

Morillo et al., (2022), menciona que algunas investigaciones han demostrado que los tratamientos con campos eléctricos en la planta pueden mejorar la tolerancia al estrés como resultado de la activación de su respuesta antioxidante. En consecuencia, los tratamientos con campos eléctricos tienen el potencial adicional de minimizar los efectos adversos de la sequía o las enfermedades en la productividad de los cultivos, como resultado, se ha dedicado especial interés a comprender los mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que se asocian a la mejora del crecimiento de las plantas tratadas con campos eléctricos.

Así también Faraz et al., (2024), indica que la exposición de las semillas a tratamientos con campos eléctricos tiene el potencial de mejorar su germinación, por ello, determinar las intensidades óptimas de los campos eléctricos para cada especie vegetal puede facilitar la obtención de excelentes resultados de germinación, crecimiento y rendimiento neto de los cultivos. El tratamiento de las semillas antes de la siembra con campos eléctricos y el riego con agua expuesta a campos son algunas de las técnicas más eficaces utilizadas en la tecnología agrícola reciente.

En la actualidad, el tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) es el segundo vegetal más consumido a nivel mundial después de la papa (*Solanumtuberosum*) (Dannielly, y otros, 2020). Este cultivo es de gran importancia en el mundo por el volumen de producción, como por su aceptación en fresco, salsas, sopas, procesados, entre otros (Vuelta et al., 2023). Dada la importancia del tomate, la aplicación de tratamientos eléctricos en la etapa de germinación representa una alternativa innovadora para garantizar una emergencia uniforme, incrementar la calidad de las plántulas y, en consecuencia, mejorar la productividad agrícola de este cultivo estratégico (Cazacu et al., 2020).

Una tasa de germinación aceptable para los tomates, considerada de calidad, es superior al 80%, mientras que una tasa inferior al 50% es inaceptable. La capacidad de

germinación es otro parámetro a considerar para determinar la calidad de las semillas y representa la capacidad de una planta para completar el proceso de germinación. Respecto a ello, en el ensayo de Chávez et al., (2019), que tuvo como objetivo evaluar el tratamiento del campo eléctrico en la germinación y crecimiento de la plántula de tomate, sometidas a tratamiento de campo eléctrico de 5mT en diferentes tiempos, sometieron a las semillas a la inducción de un campo eléctrico durante diferentes intervalos de tiempo (2, 4 y 7 horas). Los resultados evidenciaron que la mayor incidencia en la germinación y el crecimiento de plántulas de tomate se produjo con una exposición de 4 horas, alcanzando porcentajes de germinación del 90 % (54 semillas), 85 % (51 semillas) y 83 % (50 semillas), en comparación con el grupo control, así como mejoras en la altura de las plántulas. De acuerdo a ello se concluyó que el tratamiento eléctrico aplicado con cargas eléctricas genera efectos en la germinación y crecimiento.

Así también, Ortíz y Tapia (2021), indica que los campos eléctricos pueden afectar a nivel celular, influyendo en procesos como el transporte de iones y la actividad enzimática. Estas interacciones podrían tener un impacto en la germinación de las semillas al modificar las tasas de división celular, la absorción de nutrientes y la síntesis de proteínas necesarias para el crecimiento inicial de la plántula. Estos hallazgos determinan que la aplicación de campos eléctricos mediante cargas eléctricas influye positivamente en la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas, lo que sugiere la necesidad de profundizar en investigaciones sobre el uso de esta técnica en semillas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1.Antecedentes investigativos

Aunque aún se necesita más investigación para comprender completamente los mecanismos detrás de la electrocultura en la germinación de semillas, varios estudios experimentales han proporcionado evidencia preliminar de sus efectos beneficiosos, tales como, mejoras en la germinación, la velocidad de crecimiento, la tolerancia al estrés y la calidad de las plántulas cuando las semillas se exponen a campos eléctricos específicos durante la etapa de germinación (Paredes et al., 2023). Entre las investigaciones encontradas se destacan las que se mencionan a continuación.

En la investigación desarrollada por Erazo (2022), se planteó como objetivo analizar el efecto del tratamiento eléctrico sobre la concentración de proteínas totales en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Para ello, se aplicaron ocho tratamientos eléctricos a semillas de tomate utilizando un conjunto de imanes toroidales con una densidad de flujo nominal de 100,00 mT. Para el análisis de los tratamientos se empleó una optimización bayesiana, considerando como variables independientes el tiempo de exposición (0 a 900 segundos), la temperatura de incubación (20 °C a 35 °C) y el volumen de agua (3 a 15 mL). El efecto del campo eléctrico sobre la germinación se evaluó a través del Tiempo Medio de Germinación (TMG) como indicador biológico, y mediante la concentración de proteínas totales como variable química. Los resultados indicaron que los tratamientos D4, D2 y D7 cuyo tiempo de exposición fueron de 869 segundos, 23 segundos, y 869 segundos respectivamente, resultaron los más efectivos, ya que la estimulación eléctrica aplicada en intervalos cercanos a 23 y 869 segundos redujo significativamente el (TMG) e incrementó la velocidad de germinación. En consecuencia, más del 50 % de la población de semillas logró germinar en un periodo aproximado de 56 horas, lo que demuestra el potencial de los campos de la electricidad como técnica para mejorar la eficiencia germinativa en *Solanum lycopersicum*.

Así también, Nurbaity et al., (2022), tuvo como objetivo determinar el efecto del tratamiento con campos eléctricos bajos en la germinación de semillas de tomate. Este experimento se realizó en el laboratorio para evaluar la germinación de semillas

sometidas al campo eléctrico y no sometidas al campo eléctrico en diferentes sustratos de cultivo. La aplicación de una baja exposición eléctrica de 0,2 mT durante 15 minutos a semillas de tomate mostraron un mayor porcentaje de germinación en todos los medios de germinación utilizados (germinación en papel, germinación en papel tisú, germinación en zeolita) a los 5 días de germinación. La germinación de las semillas tratadas con diferentes medios de germinación alcanzó su máximo potencial en el medio de zeolita (85%). Las semillas de buena calidad presentan un alto vigor, lo cual se demuestra por su alto porcentaje de germinación, su rápida germinación y la formación de plántulas normales. El tratamiento eléctrico también mostró mejoras en el peso seco, la longitud y el índice de vigor de las plántulas.

De igual forma, el estudio desarrollado por Samarah et al (2021), tuvo como finalidad evaluar si el tratamiento de agua salina o de semillas con un campo eléctrico mejoraba el porcentaje de germinación de las semillas, el tiempo medio de germinación, el crecimiento de las plántulas, el crecimiento, desarrollo de las plantas, número y rendimiento de frutos de tomate. Se realizaron tres experimentos para evaluar si el tratamiento de agua salina o semillas con un campo eléctrico podía mejorar la germinación de las semillas y la productividad de los tomates (*Solanum lycopersicum*) bajo estrés salino. Para evaluar la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas en respuesta a un campo eléctrico, se llevaron a cabo dos experimentos de laboratorio pasando cuatro soluciones de agua salina de NaCl (0, 5, 10 y 15 dS/m) a través de un campo eléctrico (3,5–136 mT) o exponiendo las semillas de tomate al mismo campo eléctrico durante 20 minutos antes de la siembra. El tratamiento eléctrico del agua o de las semillas mejoró el porcentaje de germinación, su velocidad, la longitud y el peso seco de las plántulas en dos experimentos de laboratorio. En conclusión, se determinó que el tratamiento eléctrico del agua salina o de las semillas mejoró la germinación, el crecimiento de las plantas y la producción de frutos de los tomates.

De igual forma, el estudio desarrollado por Kadioglu et al., (2023), tuvo como finalidad evaluar el impacto de la electrocultura en la germinación de semillas y la longitud de raíces y brotes de seis especies de hortalizas: tomate, pimiento, cebolla, coliflor, repollo y zanahoria. Las semillas de las tres primeras especies se sometieron

a electrocultura durante aproximadamente 5 minutos a 15-17 mT, mientras que las restantes se sometieron a un tratamiento a temperatura ambiente de 15 minutos. La electrocultura resultó ser más eficaz para mejorar la germinación regular en todas las especies. Aunque las mejoras observadas en tomate, repollo y zanahoria no fueron estadísticamente significativas ($p<0,05$), sí incrementó los porcentajes de germinación regular entre un 8% y un 14% en todas las especies. El beneficio más significativo del tratamiento se observó en cebollas, con un aumento del 14%, mientras que el menor aumento se registró en repollos y tomates, con un 8%. Además, se observó una mejora sustancial en la longitud de los brotes en tomates y cebollas, con un aumento de 1,4-1,3 cm, mientras que la mayor mejora en la longitud de las raíces se observó en coles y tomates, con un aumento de 3,5-2 cm, respectivamente. Los resultados indican que la electrocultura no solo mejora la germinación, sino que también aumenta significativamente el potencial de crecimiento de las raíces y los brotes en estas especies vegetales.

Shakina et al., (2024), en su estudio tuvo como objetivo determinar la mejor técnica de extracción y la mejor exposición a campos eléctricos para obtener una alta germinación en semillas de tomate. El diseño completamente aleatorio utilizado en esta investigación constó de dos factores: extracción de semillas y campo eléctrico, con tres réplicas. Los resultados mostraron que la extracción de semillas durante 24 horas es el mejor tratamiento para mejorar el porcentaje máximo de germinación, el potencial de crecimiento, la tasa de crecimiento, la velocidad de crecimiento y el índice de uniformidad. La exposición eléctrica a 6 mT fue el mejor tratamiento para mejorar el crecimiento máximo y la velocidad de crecimiento de las semillas. El porcentaje de potencial máximo de crecimiento aumenta con la mejora de la exposición al campo eléctrico. Esto se debe a que el campo eléctrico afecta la mayor parte de la membrana celular, lo que podría proteger a las células que están rodeadas por la membrana, y también induce la respiración y el metabolismo de las semillas.

1.1.1. Marco Teórico

Electrocultura

La electrocultura es una técnica innovadora y revolucionaria para el desarrollo de plantas que utiliza corrientes eléctricas, potenciando su crecimiento y aumentando la producción. La electrocultura se basa en que el uso de electricidad, magnetismo, sonido y luz monocromática puede estimular significativamente el crecimiento de las plantas, incrementando la producción, la velocidad de crecimiento y la calidad de los cultivos (Holt, 2023).

Así tambien, Muller y Van Doorne (2023), indica que la electrocultura es un conjunto de técnicas que utilizan electricidad y magnetismo para potenciar el crecimiento de las plantas. Estas crecen más grandes y rápido, con mayor valor nutritivo y con el tiempo, esta sencilla tecnología puede eliminar la necesidad de pesticidas y fertilizantes tóxicos, lo cual contribuye a los objetivos de sostenibilidad global al reducir la contaminación ambiental.

El electrocultivo también puede mejorar la salud del suelo al potenciar la actividad microbiana, equilibrar los niveles de pH y facilitar una mejor absorción de nutrientes. El resurgimiento del interés en el electrocultivo también se debe a su potencial para mitigar importantes problemas agrícolas, pues cultivos sometidos a estimulación eléctrica presentan mayores rendimientos, una formación radicular más robusta y una mayor tolerancia a condiciones de cultivo adversas (Ahmed et al., 2025).

Técnicas de electrocultivo

De acuerdo con Holt (2023), el electrocultivo utiliza diversas técnicas para generar un entorno eléctrico vital para el crecimiento y desarrollo de la planta. A continuación, se mencionan alguna de estas:

- **Estimulación por corriente eléctrica directa (CCD):** Esta técnica implica la aplicación de una pequeña cantidad de corriente eléctrica directa sobre las

plantas o el suelo. Los electrodos o cables se colocan bajo el suelo o se intercalan sobre las plantas para que la corriente, producida por una batería o una fuente de alimentación de bajo voltaje, pueda circular a través de ellos.

- **Estimulación por corriente alterna (CA).** Esta técnica expone el suelo o las plantas a pequeñas cantidades de corriente eléctrica alterna. Al igual que en la estimulación por (CCd), los cables se colocan bajo el suelo o se conectan alrededor de la planta y se exponen a un dispositivo de electrocultivo especializado que genera la carga de (CA).
- **Estimulación inducida**. Esta técnica de estimulación implica la generación de un pequeño campo de corriente eléctrica alterna en el tejido vegetal o el suelo mediante un dispositivo de electrocultivo específico. Sin necesidad de electrodos ni cables, el dispositivo crea un campo eléctrico capaz de aumentar los rendimientos y el crecimiento de las plantas por inducción.
- **Tratamiento de semillas:** En ocasiones, las semillas se tratan mediante electrocultivo antes de su siembra, este tratamiento expone la semilla a un campo magnético o eléctrico, lo que favorece la germinación y acelera el crecimiento de la planta.
- **Acoplamiento de CA:** El acoplamiento de CA es una técnica que permite que las plantas sean sensibles a un campo eléctrico fluctuante (una corriente de baja intensidad y un voltaje elevado). Un material aislante transmite el campo eléctrico a la planta, lo que estimula su crecimiento y mejora su salud general, además, el acoplamiento capacitivo no debe entrar en contacto con el conductor eléctrico ni con la planta para evitar el riesgo de lesiones.
- **Conexión a tierra de plantas:** La conexión a tierra de plantas consiste en fijar la planta a un cable de tierra, este cable se suele fijar a la base de la planta y se conecta a un sistema de puesta a tierra. Es fundamental garantizar la estabilidad del potencial eléctrico y proteger a las plantas de la radiación electromagnética peligrosa.
- **Exposición a campos electromagnéticos:** En este método, las plantas se exponen a campos electromagnéticos como los de las líneas eléctricas, las torres de telefonía móvil, entre otros. Los efectos de los campos electromagnéticos en las plantas fomentan un crecimiento rápido, aumentan el rendimiento de los cultivos y mejoran la biomasa. La intensidad, la frecuencia

y la duración óptimas de la exposición para cada planta y sus condiciones de cultivo son inciertas.

Influencia de la electrocultura en las plantas

La aplicación de la electrocultura constituye una alternativa biotecnológica con potencial para fomentar una agricultura más sostenible. En este sentido, dichos campos se han empleado para estimular procesos fisiológicos como la germinación de semillas vegetales, lo que favorece el desarrollo de plántulas con mejores condiciones de calidad. La acción de este fenómeno se manifiesta principalmente a nivel celular, donde se observa un incremento en la permeabilidad de la membrana plasmática y modificaciones en las células apicales, las cuales varían según la intensidad del campo aplicado (Suárez, 2023).

La aplicación de un campo eléctrico a las plantas está estrechamente relacionada con las variaciones en la proliferación radicular, la expresión génica, la actividad metabólica y fisiológica, y el transporte de iones en las células vegetales. Además, cuando las plantas se cultivan en ausencia de campos eléctricos, su crecimiento se inhibe. Estas observaciones sugieren que la aplicación de campos eléctricos puede ser una herramienta útil para controlar el crecimiento y la productividad de las plantas (Jo et al., 2024).

Así tambien, Álvarez (2021) indica que los campos eléctricos pueden influir en la actividad de ciertas enzimas y procesos bioquímicos en las células vegetales, esto podría afectar la biosíntesis de hormonas vegetales, como las auxinas, que son cruciales para la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas.

El campo eléctrico juega un papel esencial en cómo afecta a las plantas; su tipo, la duración de la exposición, así como su intensidad, son todos parámetros cruciales que contribuyen a la variabilidad del campo eléctrico. El campo eléctrico se puede utilizar con diferentes combinaciones de intensidad y duración de la exposición y dar diferentes resultados (Katsenios et al., 2020).

De igual manera, Arredondo et al., (2024), indica que la respuesta de las plantas frente a la influencia de campos eléctricos y magnéticos está determinada por múltiples variables, entre ellas la intensidad y frecuencia del campo, la orientación magnética, el tiempo de exposición, la etapa fenológica de la planta, la variabilidad interespecífica y las condiciones ambientales. Estos factores pueden favorecer procesos como el crecimiento y la síntesis de metabolitos, aunque, en ausencia de un control adecuado, también pueden generar efectos adversos.

Arredondo et al., (2024), explican cada una de estas:

- **Intensidad del campo eléctrico:** una alta intensidad puede resultar nociva, mientras que niveles bajos (alrededor de 5-10 mT) tienden a favorecer el crecimiento.
- **Frecuencia del campo:** determinadas frecuencias muestran mayor eficacia en la estimulación del crecimiento y en la producción de metabolitos.
- **Orientación del campo magnético:** la disposición del campo respecto a la planta condiciona su respuesta fisiológica.
- **Duración de la exposición:** periodos breves suelen tener un efecto estimulante, en tanto que exposiciones prolongadas pueden ocasionar efectos negativos.
- **Etapa de desarrollo vegetal:** las semillas presentan una mayor susceptibilidad en comparación con los organismos adultos.
- **Variabilidad interespecífica:** las distintas especies vegetales reaccionan de manera diferenciada ante estos estímulos.
- **Condiciones ambientales:** factores como temperatura, humedad y luminosidad modulan la forma en que las plantas responden a los campos eléctricos y magnéticos.

Tomate riñón

El tomate *(Solanum lycopersicum L.),* perteneciente a la familia de las solanáceas, tiene su origen en el oeste de América del Sur, específicamente en la región comprendida entre el norte de Chile y Ecuador, desde donde posteriormente se difundió hacia el trópico y subtrópico de México, considerado centro de domesticación. Las variedades de tomate exhiben una notable diversidad en tamaño, forma y color de los frutos, lo que ha permitido clasificarlas en grupos como riñón, cereza, ojo de venado, chino criollo, cuadrado, pera, bola y saladette, entre otros (Pérez et al., 2020).

Valor nutricional

Desde el punto de vista nutricional, el tomate es fuente de vitaminas y provitaminas, minerales (potasio) y numerosos metabolitos secundarios como licopeno, flavonoides, fitoesteroles y polifenoles. Un consumo de 100 g de tomate fresco aporta, respectivamente, más del 46 %, el 8 % y el 3,4 % de las necesidades diarias de vitamina A, vitamina C y potasio (Akotowanou et al., 2022). En la Tabla 1 y Tabla 2, se describe el potencial nutricional de los frutos de tomate y, los minerales y vitaminas que contiene el tomate riñón.

Tabla 1.

Potencial nutricional de los frutos de tomate.

Parámetros	**Contiene (%)**
Humedad	93,4 – 95,2
Proteínas	0,9 – 1,1
Grasas	0,3
Carbohidratos	2,8 – 4,7
Fibra	0,5 – 1,5

Nota. Tomado de Akotowanou et al., (2022)

Tabla 2.

Minerales y vitaminas que contiene el tomate.

Parámetros	Contiene (%)
Calcio (Ca)	9,7 – 15
Potasio (K)	202 - 300
Sodio (Na)	3 – 11
Hierro (Fe)	0,2 – 0,6
Magnesio (Mg)	3 – 11
Provitamina A	0,5 – 0,8
Vitamina B1	0,04 – 0,06
Vitamina B2	0,02 – 0,06
Vitamina B6	0,08 – 0,1
Vitamina C	15 – 23
Vitamina E	0,04 – 1,2

Nota. Tomado de Akotowanou et al., (2022)

Morfología del tomate riñón

El tomate es una planta herbácea dicotiledónea de tallo semileñoso que pertenece al género *Solanum,* especie *lycopersicum,* se cultiva como anual, puede desarrollarse de forma rastrera, semirrecta y erecta, y su crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitado en las indeterminadas (Quiros, 2022).

Características Botánicas del cultivo

De acuerdo López (2017), las características botánicas del cultivo de tomate son las que se indican a continuación:

El tallo

Es grueso, pubescente y de color verde, presenta un diámetro basal de entre 2 y 4 cm y es más delgado en la parte superior. A lo largo de este eje se desarrollan hojas, tallos secundarios e inflorescencias, y posee la capacidad de generar raíces adventicias al entrar en contacto con el suelo, una característica de gran utilidad en las labores de aporque, ya que proporciona mayor estabilidad y anclaje a la planta.

Flor

Es perfecta o hermafrodita, de simetría regular e hipoginia, conformada por cinco o más sépalos y al menos seis pétalos. Las flores, de color amarillo y tamaño reducido (1–2 cm de diámetro), se organizan en racimos simples o ramificados que emergen en el tallo y en las ramas de forma opuesta a las hojas. Un racimo puede agrupar de 4 a 20 flores en variedades comunes.

Las hojas

Las hojas del tomate son compuestas y pinnadas, conformadas por siete a nueve foliolos peciolados que miden 4 a 60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y por lo general de color verde. Estas hojas se disponen de manera alterna a lo largo del tallo, contribuyendo a la arquitectura de la planta.

La raíz

El sistema radical es de tipo superficial y está integrado por una raíz principal de corta extensión y poco vigorosa, complementada con raíces secundarias más numerosas y robustas y no superan los 30 cm de profundidad.

El fruto

El fruto corresponde a una baya cuya morfología (tamaño, forma, color, consistencia y composición) varía según el cultivar. Su estructura incluye la epidermis o piel, la pulpa, el tejido placentario y los lóculos donde se desarrollan las semillas.

La semilla

Esta es pequeña, con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm, y puede presentar formas diversas, entre ellas globular, ovalada, aplanada, redondeada, arriñonada o triangular con base aguda. Cada semilla está compuesta por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal, la cual se encuentra recubierta por una fina capa de tricomas.

Taxonomía del cultivo

Tabla 3.

Taxonomía del cultivo de tomate.

Reino	*Plantae*
División	*Magnoliophyta*
Clase	*Magnoliopsida*
Subclase	*Asteridae*
Orden	*Solanales*
Familia	*Solanaceae*
Género	*Solanum*
Especie	*Lycopersicum*

Nota. Tomado de (López, 2017)

Germinación

La germinación de la semilla es la reanudación del crecimiento activo del embrión, que provoca la ruptura de los tegumentos seminales y el brote de la nueva planta. Las semillas de numerosas plantas germinarán cuando estén maduras, si las condiciones ambientales son favorables (Gergoff, 2023).

El instante de la germinación es crucial para la supervivencia de las plántulas, ya que determina la disponibilidad de recursos para su posterior crecimiento. El momento de la germinación puede controlarse mediante la respuesta de las semillas a diversos factores ambientales, como la humedad, la temperatura, la luz, los gases, los nutrientes del suelo y otras sustancias químicas del suelo. De los factores mencionados, solo la humedad, la temperatura y, en la mayoría de los casos, el oxígeno son prerrequisitos universales para el crecimiento de un embrión, sin embargo, la luz puede promover o inhibir la germinación de las semillas, que generalmente depende de la temperatura (Qaderi, 2023).

La germinación constituye la fase inicial del desarrollo de la planta, que comienza tras la imbibición, cuando la semilla absorbe agua y se reactivan las funciones metabólicas del embrión. El agua absorbida activa enzimas que desencadenan la emergencia de la raíz, encargada de captar nutrientes y agua del suelo,

seguida por el crecimiento del brote aéreo. A partir de este momento, se forman las primeras hojas, que mediante la fotomorfogénesis orientan su crecimiento hacia la luz para iniciar la producción de energía necesaria para el desarrollo de la planta (Choudhury y Karmakar, 2020).

Fases de la germinación de las semillas

Generalmente, la germinación de las semillas consta de tres fases (Choudhury y Karmakar, 2020):

- **Fase I:** Imbibición de la semilla, en la que la rápida absorción de agua se produce en los espacios apoplásticos mediante fuerzas impulsadas por la semilla;
- **Fase II:** Activación, en la que se restablecen las actividades metabólicas (síntesis de proteínas);
- **Fase III:** Germinación, donde se produce la elongación celular y la emergencia de la radícula.

Antes de finalizar la Fase II, la germinación es un proceso reversible, ya que las semillas pueden secarse de nuevo y permanecen vivas durante el almacenamiento, lo que permite reiniciar la germinación en condiciones adecuadas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la Electrocultura en la germinación de semillas de Tomate Riñón.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de exposición adecuado al campo eléctrico en las semillas de tomate variedad Pietro.
- Establecer la cantidad de ondas eléctricas que estimulen la germinación de semillas de tomate variedad Pietro.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Materiales y equipos

Materiales

- Semillas de tomate
- Bandejas de germinación
- Sustrato

Equipos

- Equipo de electrocultura
- Regadera
- Calibrador Pie de rey
- Cinta métrica
- Probeta
- Computadora
- Cámara fotográfica

2.2. Métodos

2.2.1. Variables de la investigación (dependiente e independientes).

Tiempo de exposición a la electrocultura

- 5 minutos - T1
- 10 minutos - T2
- 20 minutos - T3

Ondas eléctricas

- 400 µT - E1
- 600 µT - E2
- 800 µT - E3

2.2.2. Tratamientos

Tabla 4.

Tratamientos.

Tratamiento	Simbología	Descripción
1	T1E1	Cinco minutos de electrocultura a 400 µT
2	T1E2	Cinco minutos de electrocultura a 600 µT
3	T1E3	Cinco minutos de electrocultura a 800 µT
4	T2E1	Diez minutos de electrocultura a 400 µT
5	T2E2	Diez minutos de electrocultura a 600 µT
6	T2E3	Diez minutos de electrocultura a 800 µT
7	T3E1	Veinte minutos de electrocultura a 400 µT
8	T3E2	Veinte minutos de electrocultura a 600 µT
9	T3E3	Veinte minutos de electrocultura a 800 µT
Testigo	T	Sin ninguna aplicación

2.2.3. Diseño experimental

Bloques completos al azar en arreglo factorial 3x3+1 con 3 repeticiones. Cada bloque representa una repetición y dentro de él se incluyen todas las combinaciones de tratamientos, distribuidas al azar.

Tabla 5.

Diseño experimental

T1E1	T	T3E3
T1E2	T1E2	T3E2
T1E3	T1E1	T3E1
T2E1	T1E3	T
T2E2	T2E1	T1E1
T2E3	T2E2	T1E2
T3E1	T2E3	T1E3
T3E2	T3E1	T2E1
T3E3	T3E2	T2E2
T	T3E3	T2E3

2.2.4. Implementación del Ensayo

Adquisición de las semillas

Las semillas se adquirieron en el almacén de Agroquímicos Agriq Agroahorro.

Compra de bandejas para germinación

Estas bandejas fueron adquiridas en el almacén de Agroquímicos Agriq Agroahorro.

Aplicación de la electrocultura

Las semillas de tomate se colocaron en una placa eléctrica construida por un técnico electromecánico y fueron sometidas, durante cinco días consecutivos, a exposiciones de 5, 10 y 20 minutos, cada una con tres repeticiones. Como control, se emplearon semillas testigo que no recibieron tratamiento.

Preparación de bandejas de germinación

Para preparar las bandejas de germinación primero se desinfectaron con Fulltrex que contiene sulfato de cobre, formol, amonio cuaternario y alcohol isopropílico, con una dosis de 5 ml por litro de agua para después poder agregar el sustrato Hawita que ayuda en la germinación.

Siembra

La siembra se realizó una vez que las bandejas ya estaban con el sustrato y posteriormente se agregó una semilla por cada orificio que tiene la bandeja de germinación.

Riego

El riego se realizó con regaderas manteniendo la capacidad de campo.

Fertilización

Para la fertilización se utilizó regaderas añadiendo un enraizante que se llama Raíz Fares que contiene anhídrido fosfórico a una dosis de 2 cc por litro de agua.

Aplicación de pesticidas

En esta aplicación se utilizó un fungicida que se llama Poncho de aguas que contiene Mancozeb más Cymoxanil a una dosis de 1,25 gramos en ½ litro de agua para prevenir enfermedades en las plantas.

2.2.5. Recolección de la información

Días de la germinación

Se contabilizaron el número de días transcurridos desde la siembra hasta cuando las semillas germinaron.

Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se registró en dos momentos: la primera toma de datos se realizó a los 7 primeros días, mientras que la segunda toma se llevó a cabo a los 14 días.

Volumen radicular

En cada tratamiento se evaluaron 5 plantas por repetición, lo que correspondió a un total de 15 plantas. El volumen radicular de estas 15 plantas por tratamiento se determinó a los 35 días mediante la aplicación del principio de Arquímedes, usando una balanza de precisión y un vaso de precipitación con agua. Este principio determina que, al sumergir las raíces en el agua sin tocar las paredes del vaso, se registra un incremento de peso en el sistema (medido en g) que equivale al volumen de la raíz en cm^3 (Córdoba et al., 2011).

Longitud de las raíces

Se midió la longitud de raíces de 15 plantas por tratamiento con una cinta métrica desde el cuello de la planta hasta el extremo de la raíz.

Longitud del tallo

Se midió la longitud del tallo de 15 plantas por tratamiento con la ayuda de una cinta métrica, esta medición se realizó desde el cuello hasta el ápice de la planta.

Grosor del tallo

Se midió el grosor del tallo de 15 plantas por tratamiento empleando un calibrador pie de rey a los 35 días.

Número de hojas

Se realizó el conteo de manera manual del número de hojas de 15 plantas por tratamiento a los 35 días.

2.2.6. Análisis de la información

Los datos obtenidos fueron procesados en el programa Infostat mediante un análisis de varianza (ADEVA) con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%, lo que permitió identificar cuáles tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, con ello se pudo determinar los efectos de la electrocultura sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de tomate.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Porcentaje de germinación a los 7 días

Mediante el análisis de varianza (tabla 6) realizado a la variable porcentaje de germinación de la semilla a los 7 días, se determinó que existe una diferencia significativa entre los tratamientos al 5%.

Tabla 6.

Análisis de varianza de la variable porcentaje de germinación a los 7 días

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	10083,33	9	1120,37	3,39	0,0314*
Tratamientos	10083,33	9	1120,37	3,39	0,0314*
Error	8333,33	20	416,67		
Total	18416,67	29			

* Significancia al 5% (p<0,05)

En el test de Tukey, se muestra (tabla 7) diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento T1E3 y el T. El tratamiento T1E3 (5 minutos de electrocultura a 800 µT) alcanzó el mayor porcentaje de germinación, con un 60% a los 7 días, ubicándose en el grupo estadístico A, lo que demuestra un efecto positivo de la electrocultura sobre la germinación temprana de las semillas de tomate; mientras que el testigo T, se agrupó en el rango B, que confirma que la ausencia de estimulación eléctrica retarda el proceso de germinación. Los demás tratamientos se ubicaron en el rango AB, lo que significa que no existe diferencias significativas entre los tratamientos en estudio.

Estos resultados concuerdan con la investigación desarrollada por Čėsnienė (2023), en donde indica que un tratamiento breve (1 min) a las semillas puede estimular la germinación y el crecimiento temprano de las plántulas, ya que esto incrementan la velocidad de imbibición de agua, activan enzimas hidrolíticas y favorecen la movilización de reservas, facilitando así la germinación.

Tabla 7.

Prueba de Tukey de la variable porcentaje de germinación a los 7 días

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1E3	60,00	3	11,79	A	
T2E1	50,00	3	11,79	A	B
T2E3	43,33	3	11,79	A	B
T2E2	43,33	3	11,79	A	B
T3E1	40,00	3	11,79	A	B
T1E1	33,33	3	11,79	A	B
T3E2	23,33	3	11,79	A	B
T1E2	13,33	3	11,79	A	B
T3E3	10,00	3	11,79	A	B
T	0,00	3	11,79		B

3.1.2. Porcentaje de germinación a los 14 días

El análisis de varianza del porcentaje de germinación de la semilla a los 14 días (tabla 8), evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos al 5%.

Tabla 8.

Análisis de varianza de la variable Porcentaje de germinación a los 14 días

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	8177,63	9	908,63	3,32	0,0121*
Tratamientos	8177,63	9	908,63	3,32	0,0121*
Error	5467,33	20	273,37		
Total	13644,97	29			

* Significancia al 5% ($p<0,05$)

La prueba de Tukey (tabla 9) muestra que, todos los tratamientos sometidos a electrocultura alcanzaron porcentajes de germinación altos (entre 93,33% a 100%), agrupándose en el mismo rango A, lo que significa que no presentaron diferencias significativas entre ellos. Mientras que, el testigo, que no se aplicó tratamiento registró

un valor menor (43%), quedando en el grupo B, lo cual confirma que la aplicación de electrocultura ejerció un efecto positivo en la germinación de las se millas de tomate riñón.

Tabla 9.

Prueba de Tukey de la variable Porcentaje de germinación a los 14 días

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1E3	100,00	3	9,55	A	
T2E2	100,00	3	9,55	A	
T1E1	100,00	3	9,55	A	
T3E2	100,00	3	9,55	A	
T2E3	96,67	3	9,55	A	
T1E2	96,67	3	9,55	A	
T2E1	96,67	3	9,55	A	
T3E3	93,33	3	9,55	A	
T3E1	93,33	3	9,55	A	
T	43,00	3	9,55		B

De esta forma se indica que, aunque no hubo diferencias estadísticas entre los distintos tiempos y combinaciones de electrocultura, todos los tratamientos superaron ampliamente al control, evidenciando la eficacia general de la técnica para mejorar la germinación. Estos resultados se asemejan con los encontrados por Abhary y Akhkha (2023), en cuyo experimento las semillas de tomate Super Strain-B, fueron tratadas con los polos norte y sur de imanes de neodimio de 150, 200 y 250 mT; las semillas tratadas en un campo eléctrico mostraron un aumento significativo en la tasa y la velocidad de germinación, lo que respalda la eficacia general del tratamiento eléctrico para potenciar procesos fisiológicos iniciales.

3.1.3. Volumen radicular (cm^3)

El análisis de varianza (tabla 10) realizado a la variable volumen radicular de la planta de tomate riñón, determinó que existe una diferencia significativa entre los tratamientos al 5%.

Tabla 10.

Análisis de varianza de la variable volumen radicular (cm^3)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,38	9	0,26	7,56	0,0001*
Tratamientos	2,38	9	0,26	7,56	0,0001*
Error	0,70	20	0,04		
Total	3,08	29			

* Significancia al 5% (p<0,05)

En el test de Tukey (tabla 11) muestran que existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T3E3 (20 minutos de electrocultura a 800 µT), con una media de 1,50 cm^3, presentó el mayor volumen radicular, siendo estadísticamente superior a los tratamientos T2E2 (10 minutos de electrocultura a 600 µT), T2E1 (10 minutos de electrocultura a 400 µT), T1E3 (5 minutos de electrocultura a 800 µT) y T1E1 (5 minutos de electrocultura a 400 µT), con valores de 0.95 cm^3,0.91 cm^3,75 cm^3 y 0,61 cm^3 respectivamente.

Tabla 11.

Prueba de Tukey de la variable volumen radicular (cm^3)

Tratamientos	Medias	N	E.E.				
T3E3	1,50	3	0,11	A			
T3E2	1,47	3	0,11	A	B		
T2E3	1,36	3	0,11	A	B	C	
T3E1	1,07	3	0,11	A	B	C	D
T	1,01	3	0,11	A	B	C	D
T1E2	0,98	3	0,11	A	B	C	D
T2E2	0,95	3	0,11		B	C	D
T2E1	0,91	3	0,11			C	D
T1E3	0,75	3	0,11				D
T1E1	0,61	3	0,11				D

Este resultado confirma que el tiempo y la combinación de exposición a la electrocultura en T3E3 (20 minutos de electrocultura a 800 µT) influyeron positivamente en la formación y desarrollo del sistema radicular de las plántulas de tomate riñón. Estos hallazgos coinciden con estudios que señalan que los campos eléctricos pueden estimular el crecimiento radicular y general de la planta, mediante mecanismos como el aumento de la absorción de agua, activación de enzimas hidrolíticas y modificación del estado redox de la semilla o plántula (Radhakrishnan, 2019). De igual forma, otros estudios han demostrado que la aplicación de frecuencias bajas y exposiciones prolongadas favorecen tanto la germinación como el crecimiento radicular en tomate (Jedlička et al., 2015).

3.1.4. Longitud de la raíz (cm)

Con el análisis de varianza realizado (tabla 12) a la variable longitud de la raíz, se determinó que existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos aplicados al 5%.

Tabla 12.

Análisis de varianza de la variable Longitud de la raíz (cm)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	58,01	9	6,45	9,64	<0,0001*
Tratamientos	58,01	9	6,45	9,64	<0,0001*
Error	13,37	20	0,67		
Total	71,38	29			

* Significancia al 5% (p<0,05)

En la prueba de Tukey (tabla 13), se muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento que registró la mayor longitud de raíz fue T1E1 (5 minutos de electrocultura a 400 µT) con 13,24 cm, ubicándose en el grupo estadístico A. El resto de los tratamientos, incluyendo el testigo (T), se agruparon en el rango B, lo que significa que no presentan diferencias entre sí, aunque sí fueron inferiores al tratamiento T1E1.

Estos resultados indican que el T1E1 (5 minutos de electrocultura a 400 µT) fue la combinación más efectiva para estimular el desarrollo radicular en plántulas de

tomate, mientras que las demás combinaciones y el testigo tuvieron respuestas similares, pero menores. Este resultado difiere de lo encontrado en el estudio de Jedlička et al., (2014) quienes hallaron que exposiciones de 20 minutos a 20-60 mT en tomate Pavlína incrementaron longitud de raíz y altura de planta. Estos trabajos muestran que tratamientos más largos o intensos sí pueden beneficiar el desarrollo radical, por tanto, los resultados confirman que sí existe un efecto de estimulación eléctrica sobre el sistema radicular de tomate, pero subrayan también la necesidad de determinar con precisión el tiempo/intensidad para cada combinación semilla-cultivar.

Tabla 13.

Prueba de Tukey de la variable Longitud de la raíz (cm)

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
T1E1	13,24	3	0,47	A	
T3E2	10,50	3	0,47		B
T2E3	10,10	3	0,47		B
T1E2	10,00	3	0,47		B
T1E3	9,78	3	0,47		B
T3E3	9,31	3	0,47		B
T2E2	9,07	3	0,47		B
T2E1	8,47	3	0,47		B
T3E1	8,39	3	0,47		B
T	8,25	3	0,47		B

3.1.5. Longitud del tallo (cm)

Mediante el análisis de varianza realizado a la variable longitud del tallo (tabla 14), se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos al 5%.

Tabla 14.

Análisis de varianza de la variable Longitud del tallo (cm)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,13	9	1,46	5,10	0,0012*
Tratamientos	13,13	9	1,46	5,10	0,0012*
Error	5,72	20	0,29		
Total	18,85	29			

* Significancia al 5% (p<0,05)

En la prueba de Tukey (tabla 15), se muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El T2E3 (10 minutos de electrocultura a 800 µT) obtuvo la media más alta con 6,76 cm, lo que indica que presenta un efecto superior respecto a los tratamientos testigo (T) y T3E1 (20 minutos de electrocultura a 400 µT) ubicados en grupos diferentes.

Los tratamientos T3E2, T3E3 y T1E2, con medias de 6,62, 6,63 y 6,64 cm respectivamente se ubican en los grupos AB, mostrando un comportamiento similar al tratamiento con mayor media. En cambio, los tratamientos T1E3, T2E2, T1E1, T2E3 y el testigo (T) presentan valores medios (entre 5,21 y 5,88 cm), integrando los grupos ABC o BC. Finalmente, el T3E1 (20 minutos de electrocultura a 400 µT), con la media más baja que fue de 4,89 cm, se encuentra únicamente en el grupo estadístico C, que confirma que este tratamiento tuvo el menor efecto sobre el crecimiento en longitud del tallo.

Tabla 15.

Prueba de Tukey de la variable Longitud del tallo (cm)

Tratamientos	Medias	N	E.E.			
T2E3	6,76	3	0,31	A		
T3E2	6,64	3	0,31	A	B	
T3E3	6,63	3	0,31	A	B	
T1E2	6,62	3	0,31	A	B	
T1E3	5,88	3	0,31	A	B	C
T2E2	5,85	3	0,31	A	B	C
T1E1	5,39	3	0,31	A	B	C
T2E1	5,37	3	0,31	A	B	C
T	5,21	3	0,31		B	C
T3E1	4,89	3	0,31			C

De acuerdo a estos datos se indica que los mejores resultados se alcanzaron con el T2E3, mientras que el tratamiento T3E1 fue el menos efectivo, esto sugiere que intensidades altas con tiempos intermedios potencian el crecimiento, mientras que tiempos prolongados con baja intensidad limitan el desarrollo. Estas observaciones concuerdan con revisiones que indican que la respuesta de las plantas a tratamientos eléctricos depende tanto de la intensidad como del tiempo de exposición, Maffei (2014) encontró que alterar las condiciones del campo eléctrico puede influir en el crecimiento de tallos y raíces, pero que los efectos varían según la especie, así como la intensidad y duración del campo.

3.1.6. Grosor del tallo (mm)

El análisis de varianza realizado a la variable grosor del tallo (tabla 16) muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados al 5%.

Tabla 16.

Análisis de varianza de la variable grosor del tallo (mm)

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,27	9	0,14	5,38	0,0009*
Tratamientos	1,27	9	0,14	5,38	0,0009*
Error	0,52	20	0,03		
Total	1,79	29			

* Significancia al 5% ($p<0,05$)

En el test de Tukey (tabla 17) se muestra diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos aplicados. Los tratamientos T2E3 (10 minutos de electrocultura a 800 µT) y T3E2 (20 minutos de electrocultura a 600 µT) registraron los mayores valores promedio de grosor del tallo con 3,18 mm y 3,16 mm, ubicándose ambos en el grupo estadístico A, lo que indica que fueron los más efectivos para favorecer el engrosamiento del tallo.

Los tratamientos T1E2 (5 minutos de electrocultura a 600 μT) con 3,07 mm y T3E3 (20 minutos de electrocultura a 800 μT) con 3,04 mm se ubicaron en el grupo AB, lo que sugiere que, aunque no difieren de los dos mejores tratamientos, muestran un efecto ligeramente inferior. Por otro lado, los tratamientos T2E2, T1E3, T2E1 y T1E1 se situaron en grupos intermedios ABC, mientras que los T3E1 (20 minutos de electrocultura a 400 μT) con 2,65 mm y el testigo T con 2,56 mm, obtuvieron los valores más bajos, ubicándose en los grupos BC, y C, respectivamente.

De acuerdo a estos resultados se deduce que los tratamientos T2E3 y T3E2 destacaron como los más eficaces para incrementar el grosor del tallo, mostrando diferencias estadísticas significativas respecto al testigo, esto respalda la idea de que las condiciones de exposición aplicadas en estos tratamientos influyeron directamente en el desarrollo estructural de la planta.

Tabla 17.

Prueba de Tukey de la variable grosor del tallo (mm)

Tratamientos	**Medias**	**N**	**E.E.**			
T2E3	3,18	3	0,09	A		
T3E2	3,16	3	0,09	A		
T1E2	3,07	3	0,09	A	B	
T3E3	3,04	3	0,09	A	B	
T2E2	2,88	3	0,09	A	B	C
T1E3	2,86	3	0,09	A	B	C
T2E1	2,77	3	0,09	A	B	C
T1E1	2,71	3	0,09	A	B	C
T3E1	2,65	3	0,09		B	C
T	2,56	3	0,09			C

Estos hallazgos coinciden con revisiones que señalan que los campos eléctricos pueden influir positivamente en el crecimiento estructural de las plantas, incluyendo tallos, raíces y biomasa, cuando las condiciones de intensidad y duración son adecuadas (Maffei, 2014). Dicho autor encontró que la respuesta vegetal a la

estimulación eléctrica depende de los parámetros del campo, y que un tratamiento óptimo puede mejorar crecimiento y rigidez del tallo. Asimismo, Sarraf et al. (2020) asegura que, aunque muchos estudios muestran efectos positivos, también se han documentado efectos nulos o incluso negativos cuando los parámetros no son adecuados, lo cual subraya la importancia de alcanzar una combinación óptima de estímulo eléctrico.

3.1.7. Número de hojas

Mediante el análisis de varianza realizado a la variable número de hojas (tabla 18), se muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos al 5%.

Tabla 18.

Análisis de varianza de la variable número de hojas

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,80	9	0,53	4,00	0,0047*
Tratamientos	4,80	9	0,53	4,00	0,0047*
Error	2,67	20	0,13		
Total	7,47	29			

* Significancia al 5% ($p<0,05$)

En el test de Tukey, se muestra (tabla 19) muestra los resultados de la prueba de Tukey para la variable número de hojas de las plántulas de tomate riñón, todas las medias se encuentran dentro del grupo estadístico A. Aunque algunos tratamientos como T1E3, T1E2 y T3E3 registraron la media más alta (6 hojas), y otros como T1E1, T2E1 y T2E3 la media más baja (5 hojas), estadísticamente todos los tratamientos son equivalentes.

Si bien algunas combinaciones de tiempo e intensidad mostraron un ligero aumento en el número de hojas, estas diferencias no fueron muy significativas, por lo que se puede afirmar que la variable número de hojas no fue influenciada de manera determinante por los tratamientos de eléctricos aplicados.

Tabla 19.

Prueba de Tukey de la variable número de hojas

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
T1E3	6	3	0,21	A
T1E2	6	3	0,21	A
T3E3	6	3	0,21	A
T2E2	5,67	3	0,21	A
T3E1	5,33	3	0,21	A
T3E2	5,33	3	0,21	A
T	5,33	3	0,21	A
T1E1	5	3	0,21	A
T2E1	5	3	0,21	A
T2E3	5	3	0,21	A

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En relación al tiempo de exposición, se determinó que 5 minutos de electrocultura fue el intervalo más efectivo para estimular la germinación temprana de semillas de tomate variedad Pietro, alcanzando un 60 % de germinación a los 7 días con el tratamiento T1E3 (5 minutos de electrocultura a 800 µT). Para favorecer el desarrollo estructural posterior de la plántula, los tiempos intermedios (10 min) y prolongados (20 min) demostraron mejores resultados en variables de crecimiento vegetativo, especialmente en el volumen radicular y el grosor del tallo.

- Respecto a la intensidad de la electrocultura, la exposición a 800 µT mostró ser la más eficiente para promover la germinación y el desarrollo temprano de las plántulas. Los tratamientos T1E3 (5 minutos de electrocultura a 800 µT), T2E3 (10 minutos de electrocultura a 800 µT) y T3E3 (Veinte minutos de electrocultura a 800 µT) registraron los valores más altos en porcentaje de germinación, longitud y grosor del tallo, y volumen radicular, superando significativamente al testigo.

- Los resultados muestran que la aplicación controlada de la electrocultura constituye una alternativa tecnológica viable para mejorar la germinación y el vigor inicial de semillas de tomate variedad Pietro, ya que esta técnica permite optimizar procesos productivos mediante la selección adecuada de la combinación tiempo–intensidad, en función del objetivo agronómico, ya sea la germinación rápida, desarrollo radicular profundo o mayor vigor vegetativo.

4.2. Recomendaciones

- Es importante aplicar un tiempo de exposición corto de electrocultura (5 minutos) con una intensidad de 800 μT como tratamiento estándar para favorecer la germinación temprana de semillas de tomate variedad Pietro, especialmente en etapas de producción donde se requiera una emergencia uniforme y acelerada de plántulas.

- Se requiere emplear tiempos de electrocultura intermedios y prolongados, entre 10 y 20 minutos, con 800 μT cuando el objetivo productivo sea potenciar el desarrollo estructural de la planta, particularmente en el grosor del tallo y volumen radicular, contribuyendo así a obtener plántulas más vigorosas y resistentes a factores de estrés.

- Es importante incorporar la tecnología de pretratamiento eléctrico como una práctica en programas de producción de plántulas, debido a su carácter no invasivo, de bajo costo y fácil aplicación, lo que la convierte en una herramienta eficiente para optimizar procesos agrícolas.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

Abhary, M., & Akhkha, A. (2023). Effects of neodymium magneto-priming on seed germination and salinity tolerance in tomato. *Bioelectromagnetics, 44*(1-2), 47-56. doi:https://doi.org/10.1002/bem.22438

Ahmed, R., Rahman, T., & Dipu, K. (2025). The Science of Electroculture: A Revolutionary Approach to Boosting Agricultural Productivity. *PsyArXiv*. doi:https://doi.org/10.31234/osf.io/xtz6y_v1

Akotowanou, C., Sènan, E., Berane, A., & Sylvain, D. (2022). The tomato (Solanum lycopersicum L.) in community development: An overview focused on nutritional properties, agronomic constraints, recent achievements and future prospective. *International Journal of Frontiers in Biology and Pharmacy Research, 3*(2), 8-16. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/365875011_The_tomato_Solanum_lycopersicum_L_in_community_development_An_overview_focused_on_nutritional_properties_agronomic_constraints_recent_achievements_and_future_prospective

Alemán, E., Barrera, L., & Fung, Y. (2020). Efecto del tratamiento electromagnético de frecuencia extremadamente baja en el proceso de germinación de habichuela (Vigna unguiculata L. *Ctro. Agr., 47*(3), 51-58. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852020000300051&lng=es&nrm=iso

Álvarez, J. (2021). *Estudio y modelización del proceso de germinación de semillas de triticale sometidas a tratamiento magnético. Tesis Doctoral.* E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM). doi:https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.66821

Arredondo, A., Fernández, R., Salazar, Y., & Carrillo, A. (2024). Explorando los impactos de campos eléctricos y magnéticos en el crecimiento vegetal: una revisión. *Verano de la Ciencia XXIX*, 1-8. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/384575371_Explorando_los_impactos_de_campos_electricos_y_magneticos_en_el_crecimiento_vegetal_una_revision

Cazacu, A., Boca, S., & Bodale, I. (2020). The effects of extremely low frequency magnetic field on tomato speeds germination. *Lucrari Stiintifice seria horticultura, 63*(2), 249-254. Obtenido de https://repository.iuls.ro/st/web/viewer.html?file=https://repository.iuls.ro/bitstream/handle/20.500.12811/4560/HORTI_v.63_nr.2_The%20effects%20of%20extremely%20low%20frequency%20magnetic%20fields%20on%20tomato%20seeds....pdf?sequence=1&isAllowed=y

Čėsnienė, I., Miškelytė, D., Mildažienė, V., & Sirgedaitė, V. (2023). Seed Treatment with Electromagnetic Field Induces Different Effects on Emergence, Growth and Profiles of Biochemical Compounds in Seven Half-Sib Families of Silver Birch. *Plants (Basel), 12*(17), 3048. doi:10.3390/plants12173048

Chávez, J., Santamaría, N., & Afiler, D. (2019). Efecto del campo magnético de imanes orientados según el campo terrestre en la germinación y crecimiento de la plántula de Lycopersicon esculentum Mili, "tomate", Chachapoyas 2015. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería, 1*(2). Obtenido de https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/318?utm_source=chatgpt.com

Choudhury, A., & Karmakar, S. (2020). Germination: The Way of Entering into a New Life. *AgriCos e-Newsletter, 1*(6). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/346972044_Germination_The_Way_of_Entering_into_a_New_Life

Córdoba, D., Vargas, J., López, J., & Muñoz, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de Pinus pinceana Gordom en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia, 45*, 493-506. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n4/v45n4a8.pdf

Dannielly, Z., Rodríguez, P., Ferrer, A., Fung, Y., Aleman, E., & Asanza, G. (2020). Producción de tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo riego con agua

magnetizada en casa de cultivo protegido. *Ciencia en su PC, 1*, 60-74. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/1813/181363107005/html/

Erazo, C. (2022). *Análisis del efecto del tratamiento magnético sobre la concentración de proteínas totales en semillas de tomate (Solanum lycopersicum L.).* Manizales, Colombia: Universidad de Caldas. Obtenido de https://repositorio.ucaldas.edu.co/server/api/core/bitstreams/8b3206ea-b30f-407b-bf59-b2d3a710baba/content

Faraz Ali, M., Aqeel, M., & Gaafar, A. (2024). Seed pre-treatment with electromagnetic field (EMF) differentially enhances germination kinetics and seedling growth of maize (Zea mays L.). *Journal of King Saud University - Science, 36*(5), 103184. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S101836472400096X

Gergoff, G. (2023). *Introducción a la propagación vegetal: de la fisiología a la práctica integrada.* Buenos Aires: Edulp. Obtenido de https://core.ac.uk/download/597602003.pdf

Holt, C. (2023). *Advanced Electroculture: Harnessing Solar Power and Electrical Technology for Improved Yields, Sustainability, Plant Growth, and Breeding.* Copyright 2023. Obtenido de https://rexresearch1.com/ElectrocultureBooks/AdvancedElectrocultureHolt.pdf

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., & Teresita, R. (2007). *Producción del tomate bah¡jo condiciones protegidas.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO.

Jedlička, J., Paulen, O., & Ailer, Š. (2014). Influence of magnetic field on germination, growth and production of tomato. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 8*(1), 150–154. doi:https://doi.org/10.5219/349

Jedlička, J., Paulen, O., & Ailer, S. (2015). Research of effect of low frequency magnetic field on germination, growth and fruiting of field tomatoes. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 1-4. doi:https://sciendo-parsed.s3.eu-central-1.amazonaws.com/647089fa71e4585e08a9f788/10.1515_ahr-2015-

0001.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Credential=ASIA6AP2G7AKCE6YNG6K%2F20251030%2Feu-central-1%2Fs3%2Faws4_requ

Jo, W., Yang, S., Lee, G., Kim, J., Kim, Y., Choi, Y., . . . Kim, H. (2024). Effect of a Directional Electromagnetic Field on the Early Stages of Plant (Raphanus sativus and Saccharum officinarum) Growth. *Horticulturae, 10*(9), 973. doi:https://doi.org/10.3390/horticulturae10090973

Kadioglu, N., Ermis, S., Oktem, G., & Demir, I. (2023). Magnetopriming enhanced seed germination in six vegetable species: tomato, pepper, onion, cauliflower, cabbage and carrot. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 28*(3), 557-567. Obtenido de https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3087658

Katsenios, N., Sparangis, P., Kakabouki, I., & Efthimiadou. (2020). Influence of pulsed electromagnetic field as a pre-sowing treatment on germination, plant growth and yield of broad beans. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48*(3), 398-1412 . Obtenido de https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/11989/9005

López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum lycopersicum).* San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.

Maffei, M. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Front Plant Sci, 4*(5). Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4154392/

Morillo, A., Martínez, H., Velandi, J., & Morillo, Y. (2022). Effects of static magnetic fields on onion (Allium cepa L.) seed germination and early seedling growth. *Revista de Ciencias Agrícolas, 39*(1), 30-41. doi:doi: https://doi.org/10.22267/rcia.223901.169

Muller, D., & Van Doorne, Y. (2023). *Electroculture 101 (Starter Guide)* (Primera ed.). Electroculture.Life. Obtenido de https://www.academia.edu/128756280/Electroculture_101_Starter_Guide_

Nurbaity, A., Nuraini, A., & Agustine, E. (2022). Effect of magnetic field and arbuscular mycorrhizal fungi on germination and growth of tomato (Lycopersicon esculentumMill.). *Journal of Tropical Mycorrhiza, 1*(1), 29-36.

Ortíz, J., & Tapia, N. (2021). Inspección documental sobre la germinación de especies forestales en tratamientos con campos magnéticos. *Instituto Tecnológico de Putumayo*, 1-24. Obtenido de https://repositorio.itp.edu.co/server/api/core/bitstreams/767e3af7-18d6-4563-aa64-fe2f8a93bf88/content

Paredes, R., Conde, R., & Martínez, Á. (2023). Transferencia de la tecnología magnética Gremag en la agricultura de Banes. *Revista de Gestión del Conocimiento y el Desarrollo Local, 10*(2), 1-10. Obtenido de https://revistas.unah.edu.cu/index.php/RGCDL/article/view/1798/3712

Pérez, A., Arévalo, M. d., Pérez, L., Lobato, R., & Ramírez, M. (2020). Crecimiento y características postcosecha de frutos de genotipos de tomate (Solanum lycopersixum L.). *Rev. Fitotec. Mex., 43*(1), 89 - 99. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v43n1/0187-7380-rfm-43-01-89.pdf

Qaderi, M. (2023). Environmental Regulation of Weed Seed Dormancy and Germination. *Seeds, 2*(3), 259-277. Obtenido de https://doi.org/10.3390/seeds2030020

Quiros, S. (2022). *Guía Técnica. Cultivo de Tomate.* San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnoliogía Agropecuaria. Obtenido de https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9820.pdf

Radhakrishnan, R. (2019). Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiol Mol Biol Plants, 25*(5), 1107–1119. Obtenido de https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6745571/

Ramírez, K., Caudillo, A., Arredondo, A., & Fernández, R. (2024). Influencia de la Estimulación mediante Campos Eléctricos en la germinación de semillas de maíz (Zea mays): Estudio Experimental. *Verano de la Ciencia XXIX*(28). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/384575323_Influencia_de_la_Estimulacion_mediante_Campos_Electricos_en_la_germinacion_de_semillas_de_maiz_Zea_mays_Estudio_Experimental

Samarah, N., Bany Hani, M., & Makhadmeh, I. (2021). Effect of Magnetic Treatment of Water or Seeds on Germination and Productivity of Tomato Plants under Salinity Stress. *Horticulturae, 7*, 220. Obtenido de https://doi.org/10.3390/horticulturae7080220

Sarraf, M., Kataria, S., Taimourya, H., Houda, L., Menegatti, R., Jain, M., . . . Liu, S. (2020). Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. *Plants, 9*(9), 1139. Obtenido de https://www.mdpi.com/2223-7747/9/9/1139?utm_source=chatgpt.com

Shakina, V., Nuraini, A., & Nurbaity, A. (2024). Response of tomato seed germination to several extraction techniques and magnetic field exposure treatments. *Jurnal Kultivasi, 23*(1), 8-13.

Suárez, D. (2023). *Efecto de campos electromagnéticos inducidos a baja intensidad sobre procesos morfo-fisiológicos y de prductividad de Zea mays L. var Porva, como alternativa tecnológica sostenible para la producción agrícola. Tesis Doctoral.* Bogotá: Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14414/TFSC1624_BIB310515_TFG_DOCINADE_Su%C3%A1rez-Rivero%2C%20Deivis_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ukoh, E. (2022). Teaching electromagnetism using interactive-invention instructional strategy and the learning outcome of secondary school students. *Momentum Physics Education Journal, 6*(1), 10-18. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/366153775_Teaching_electromagnetism_using_interactive-

invention_instructional_strategy_and_the_learning_outcome_of_secondary_school_students

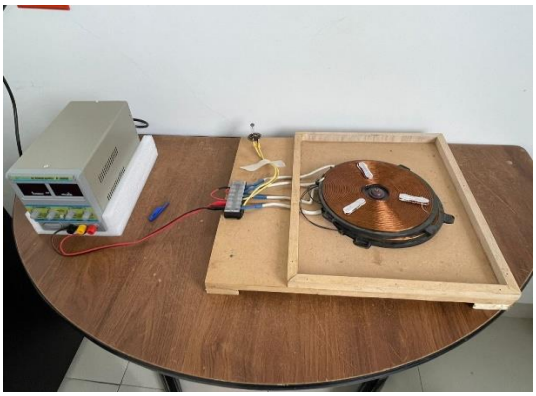
Urnukhsaikhan, Enerelt, Erdene, B., Khurelbaatar, L., Bazarvaani, A., & Mishig, T. (2025). Effects of Electromagnetic Field on Seed Germination,β-Amylase Activity, Total Protein Content, Water Uptake,and Growth of Wheat Seedlings (Triticum aestivum). *Bioelectromagnetics, 46*(5). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/392961548_Effects_of_Electromagnetic_Field_on_Seed_Germination_b_-Amylase_Activity_Total_Protein_Content_Water_Uptake_and_Growth_of_Wheat_Seedlings_Triticum_aestivum#pf1

Vásquez, I., & Valencia, L. (2024). Functional attributes of seeds as indicators of germination sensitivity to global warming. *Environmental Reviews, 32*(2), 173-185. Obtenido de https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/er-2023-0066

Vuelta, D., Paneque, P., Paneque, L., Más, S., Montero, G., & Rizo, M. (2023). Riego con agua tratada magnéticamente sobre tomate (Solanum lycopersicum L.) inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 32*(4), 1-8. Obtenido de http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v32n4/es_2071-0054-rcta-32-04-e07.pdf

Anexos

Anexo 1. Fotografías de trabajo de campo



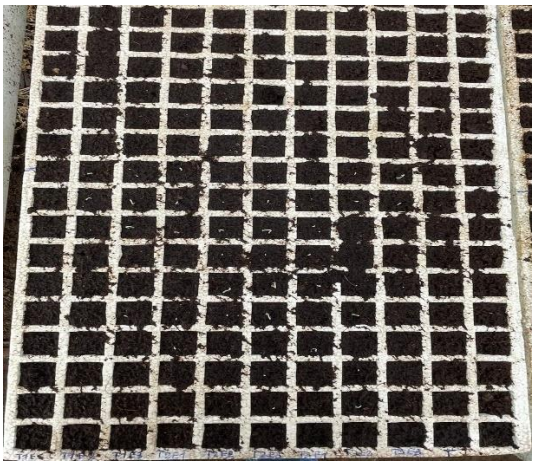


Bandejas para la siembra





Plantas a los 7 días





Plantas a los 14 días




Plantas a los 21 días




Plantas a los 28 días




Plantas a los 35 días





Toma de datos







