UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMIA

“Evaluación del tratamiento electromagnético en germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*).”

AUTOR:

López Paredes Brandon Mauricio

TUTOR:

Ing. Mg. Zurita Vasques José Henan

CEVALLOS, 2025

"Evaluación del tratamiento electromagnético en germinación de semillas de pimiento (Capsicum annuum)".

REVISADO POR:



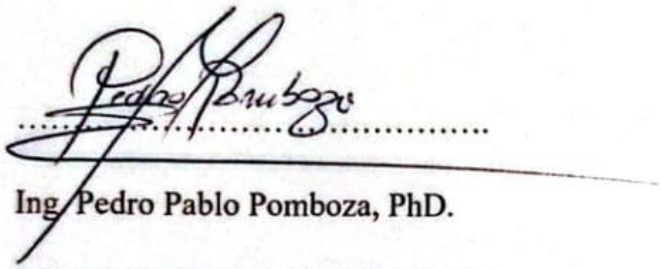
.....

Ing. Mg. Zurita Vásquez José Hernán

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN:

Fecha



..... 21/7/2025

Ing. Pedro Pablo Pomboza, PhD.

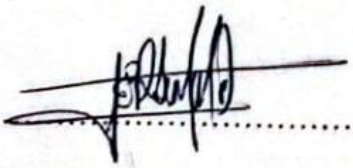
PRESIDENTE DE TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN



..... 21/7/2025

Ing. Mg. Pallo Paredes Edwin Leonardo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

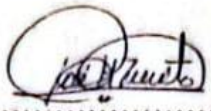


..... 21/7/2025

Ing. Artieda Rojas Jorge Rodrigo, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DEL CALIFICACIÓN

"Evaluación del tratamiento electromagnético en germinación de semillas de pimiento (Capsicum annuum)".

REVISADO POR:



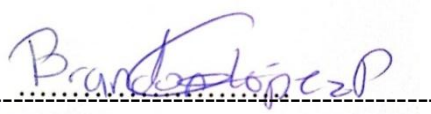
.....

Ing. Mg. Zurita Vásquez José Hernán

TUTOR

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, **BRANDON MAURICIO LOPEZ PAREDES**, portador de cédula de ciudadanía número: **2000114088**, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: "**Evaluación del tratamiento electromagnético en germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*)**" es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



BRANDON MAURICIO LOPEZ PAREDES

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "**Evaluación del tratamiento electromagnético en germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*)**" 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.



BRANDON MAURICIO LOPEZ PAREDES

DEDICATORIA

A mis padres Amanda Paredes y Fidel López, que han sido mi base, mi refugio y mi fuerza en cada paso de este camino. Gracias por cada palabra de aliento, cada sacrificio invisible y cada abrazo que me sostuvo cuando sentí que no podía más. Su amor incondicional ha sido mi mayor motor y este logro les pertenece tanto como a mí. A mi abuelo y tíos, que con su cariño, consejos y presencia constante me han acompañado más allá de lo esperado, brindándome apoyo y palabras sabias en momentos clave.

A mis amigos, los de siempre y los que la vida me fue regalando, gracias por ser mi risa en días grises, mis cómplices en tantas aventuras y un apoyo genuino en los momentos difíciles. Ustedes han hecho este camino más ligero y lleno de memorias hermosas.

A mis compañeros de carrera, con quienes compartí desvelos, exámenes, proyectos y también sueños. Gracias por la solidaridad, el compañerismo y por convertirse en una segunda familia.

Y a mi tutor, gracias por su guía, paciencia y por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía. Sus consejos marcaron la diferencia.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a quienes han sido parte esencial de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, su entrega total y por ser mi refugio en cada etapa de la vida. Gracias por enseñarme a creer en mí incluso cuando yo dudaba. A mis tíos, por estar presentes con su cariño, sus consejos sabios y su apoyo desinteresado que tanto he valorado. A mi abuelo, por ser un ejemplo de sabiduría, fortaleza y humildad; su presencia ha sido una inspiración constante.

A mis hermanos, gracias por su compañía, por las palabras de ánimo y por compartir conmigo tanto más allá de los lazos familiares. A mis amigos cercanos, quienes me ofrecieron su hombro en los momentos difíciles y celebraron conmigo cada victoria, gracias por su lealtad y cariño. A mis amigos en general, por hacer más ligero el camino con sus sonrisas, ocurrencias y compañía sincera.

A mis compañeros de carrera, gracias por ser parte de una etapa llena de esfuerzo, trabajo en equipo, retos y grandes recuerdos. Con ustedes aprendí tanto dentro como fuera del aula.

A mi tutor de tesis, gracias infinitas por su paciencia, por su guía constante, por confiar en mis capacidades y por orientarme con sabiduría y compromiso.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
MARCO TEÓRICO 3
1.1. Antecedentes Investigativos 3
1.2. Germinación 4
1.3. Qué es el electromagnetismo 4
1.4. Influencia del electromagnetismo 5
1.5. Tratamiento magnético 5
1.5.1. Efectos positivos: 6
1.5.2. Factores que influyen en la actividad del tratamiento electromagnetismo 6
1.6. Estudio del tratamiento electromagnetismo 6
1.6.1. Bases teóricas del tratamiento electromagnetismo 6
1.2. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES 7
1.2.1. Morfología general 7
1.2.2. Origen del pimiento 7
1.2.3. RAÍZ 8
Tipo de raíz: Axonomorfa 8
1.2.4. TALLO 8
1.2.5. HOJAS 8
1.2.6. TAXONOMÍA 8
1.3. OBJETIVOS 9
1.3.1. Objetivo general: 9
1.3.2. Objetivos específicos: 9
CAPÍTULO II 10
METODOLOGÍA 10
2.1. Ubicación del estudio 10
2.2. Caracterización del lugar. 10
2.3. Equipos y materiales 10
2.3.1. Equipos 10
2.3.2. Materiales 10
2.3.3. Material de oficinas 11
2.4. Factores de Estudio: 11

2.4.1. Factor 1: Micro teras (µT) 11
2.4.2. Factor 2: Tiempo de exposición a las cargas electromagnéticas 11
2.5. Manejo del experimento 11
2.4.3. Tratamientos 11
2.4.4. Diseño experimental 12
2.5.1. Preparación de las bandejas de germinación 12
2.5.2. Exposición a las cargas electromagnéticas 12
2.5.3. Siembra 12
2.6. VARIABLES DE RESPUESTA 13
2.6.1Porcentaje de germinación 13
1.6.2. Longitud radicular 13
2.6.3. Volumen de raíz 13
2.6.4. Altura de la planta 13
CAPÍTULO III 14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 14
Porcentaje de germinación 14
Altura de planta 15
Longitud radicular 16
Diámetro del tallo 16
VOLUMEN RADUCULAR 17
Todos los tratamientos comparten la misma letra ("A"), ... 17
CAPÍTULO IV 18
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 18
4.1. CONCLUSIONES 18
4.2. RECOMENDACIONES 18
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 19
ANEXOS 22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos y simbología 11

Tabla 2. distribución de los tratamientos. 12

Tabla 3. Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación 14

Tabla 4. Análisis de varianza para la variable altura de planta en pimiento 15

Tabla 5. Prueba de tukey al 5% para la variable longitud radicular en pimiento..... 16

Tabla 6. Prueba de Tukey 5% para la variable diámetro tallo. 16

Tabla 7. Prueba de Tukey 5% para la variable volumen radicular 17

RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo demostrar la influencia de las microteras en el proceso germinativo del pimiento (*Capsicum annuum*). Determinando si al someter las semillas a 200, 400 y 600 µT con tiempo de exposición diferentes. La investigación se realizó en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, en los predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, con una altitud de 2865 msnm. Se seleccionaron semillas sanas las cuales se sometieron a 200, 400 y 600 µT en tres tiempos diferentes 5, 10, y 20 minutos. Las semillas se colocaron en la placa de aluminio donde recepta las cargaras electromagnéticas. El estímulo electromagnético se realizó durante 4 días consecutivos con sus respectivas repeticiones. En este ensayo, se evaluaron variables como porcentaje de germinación, altura de planta, longitud, volumen radicular, diámetro del tallo. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en algunas variables. El tratamiento T1O1 (200 µT por 5 minutos) presentó el mayor porcentaje de germinación (100%), diferenciándose significativamente del testigo (63,33%). Para la variable altura de planta**,** T1O3 (600 µT por 20 minutos) fue el tratamiento más efectivo, superando significativamente al resto. No se encontraron diferencias significativas en longitud radicular ni en diámetro del tallo, siendo esta última constante en todos los tratamientos (0,1 cm), lo que impidió la aplicación del test de Tukey. Se concluye que la aplicación de campos electromagnéticos, en condiciones específicas de intensidad y duración, puede mejorar la germinación y el crecimiento inicial del pimiento.

PALABRAS CLAVE: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS, GERMINACIÓN, TIEMPO, MICROTERAS (µT)

ABSTRACT

The objective of the research was to demonstrate the influence of micro-fields on the germination process of peppers (Capsicum annuum). This was determined by exposing the seeds to 200, 400, and 600 µT with different exposure times. The research was carried out in the province of Tungurahua, Ambato canton, on the grounds of the Faculty of Agricultural Sciences, at an altitude of 2865 meters above sea level. Healthy seeds were selected and subjected to 200, 400, and 600 µT at three different times: 5, 10, and 20 minutes. The seeds were placed on an aluminum plate that received the electromagnetic charges. The electromagnetic stimulation was carried out for four consecutive days with their respective repetitions. In this trial, variables such as germination percentage, plant height, length, root volume, and stem diameter were evaluated. The results showed statistically significant differences in some variables. Treatment T1O1 (200 µT for 5 minutes) had the highest germination percentage (100%), significantly different from the control (63.33%). For the plant height variable, T1O3 (600 µT for 20 minutes) was the most effective treatment, significantly outperforming the rest. No significant differences were found in root length or stem diameter, the latter being constant in all treatments (0.1 cm), which prevented the application of the Tukey test. It is concluded that the application of electromagnetic fields, under specific conditions of intensity and duration, can improve the germination and initial growth of peppers.

KEYWORDS: ELECTROMAGNETIC WAVES, GERMINATION, TIME, MICROTESLA (µT)

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La germinación es un proceso esencial en las semillas, que ocurre cuando se activan funciones internas tras absorber agua, permitiendo el crecimiento de la raíz. Este proceso requiere condiciones adecuadas de humedad, temperatura, oxígeno y luz. Si no germina bajo estas condiciones, la semilla puede estar en estado latente. Diversos estudios han demostrado que los campos magnéticos pueden estimular la germinación y el crecimiento de las plantas, influyendo en la actividad enzimática, la división celular y la permeabilidad de las membranas. Estos efectos han sido observados en cultivos como arroz, maíz, tabaco y tomate. Los mecanismos exactos de acción aún no se comprenden por completo y dependen de varios factores, como la intensidad del campo y la humedad de la semilla (Torres et al., 2008).

En la búsqueda de otros métodos que favorezcan el éxito en la propagación de especies vegetales, el ser humano ha logrado establecer su vínculo con fenómenos que abarcan otras disciplinas específicas como la física, donde el electromagnetismo ha jugado un papel crucial. Además, se sabe que los campos electromagnéticos provocan alteraciones en las semillas y el desarrollo de las plantas. Se hacen visibles los efectos primarios que se generan en el metabolismo cuando se aplica el campo magnético. Algunos científicos detallan que las repercusiones metabólicas generadas por las radiaciones magnéticas se expresan como procesos de estimulación trófica y reparación celular. (Alemán et al., 2010)

El campo magnético está en la naturaleza y afecta el reino vegetal y animal. El bioelectromagnetismo es un estudio de la influencia de los campos electromagnéticos en los sistemas biológicos y su interacción con los campos magnéticos naturales y artificiales. Estudios anteriores han declarado que el uso de campos magnéticos cambia la velocidad de germinación y desarrollo de la planta. La soja es una de las culturas más importantes del mundo; En las últimas décadas, su popularidad ha

aumentado, creyendo que esta planta de leguminosa es una fuente de salud. Este estudio se centra en los efectos de la germinación de soja (Glycine Max L.),

Sometiendo 125 TM, 250 TM y 300 TM en diferentes tiempos de exposición (10 minutos, 20 minutos, 1hora, 24 horas). Estos resultados proporcionan nuevas opciones para una producción de plantas más efectiva. (Carbonell et al., 2013)

Los campos electromagnéticos tanto de origen natural como artificial pueden afectar procesos biológicos como la germinación de semillas. Este estudio evaluó la influencia de los campos magnéticos y eléctricos, que se aplican por separado en el crecimiento de la raíz de las semillas. Los experimentos con una intensidad de campo magnético diferente (0.66 mT, 0.88 mT y 1.1 mT) y un tiempo de exposición diferente (120 minutos). Los resultados mostraron que el mayor crecimiento de la raíz se logró mediante la exposición a 0,88 microteras a 80 minutos en comparación con el grupo de control, alcanzando un 49% más. Estos descubrimientos indican que los campos magnéticos en ciertas áreas de intensidad y duración pueden estimular la germinación de semillas y representar una alternativa que no es una alternativa química para mejorar los procesos agrícolas con los beneficios del ambiente y la seguridad. (Dziwulska-Hunek, A, et al., 2022).

Se ha utilizado un campo electromagnético para lograr los efectos en la agricultura. Procesos positivos que ocurren en plantas como: semillas, desarrollo de tallo, aumento de masa fresca, longitud de la planta, rendimiento de la fruta por planta. Estos efectos pueden explicarse por cambios electroquímicos en la superficie de la célula, cambia permeabilidad de la membrana, respiración celular y el metabolismo de proteínas, carbohidratos y ácido nucleico. (Molina y Siannah, 2013)

Chávez et al. (2018) evaluaron el efecto de un campo magnético de 5 microteras (mT) sobre la germinación y el crecimiento de semillas de tomate, aplicando el tratamiento durante 2, 4 y 7 horas, junto con un grupo control. Los resultados mostraron que la exposición de 4 horas produjo los mayores efectos positivos, alcanzando tasas de germinación del 90%, 85% y 83% en distintos ensayos, en comparación con el control. Además, se registró una altura promedio de plántulas de hasta 10.6 cm en este grupo. El estudio concluye que el tratamiento magnético

mejora significativamente la germinación y el crecimiento inicial del tomate, recomendando continuar con su aplicación en este tipo de cultivos.

Varios estudios han demostrado que la terapia de campo magnético mejora la germinación de semillas, varias especies de plantas como tomate, girasol, soja, maíz y pepino. Este efecto se asocia con un aumento en la actividad enzimática, que promueve procesos fisiológicos en las primeras etapas del desarrollo. El uso del campo magnético como equipo de oficina es económico, orgánico y fácil de usar, lo que lo hace atractivo para la agricultura moderna (Katsenios et al, 2016).

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

El uso de campos magnéticos en la agricultura se muestra como una alternativa segura y efectiva para mejorar la germinación y las plántulas de las semillas. Este tipo de tratamiento se caracteriza por respeto al medio ambiente, económico y no invasivo. Si bien los mecanismos aún no se entienden cómo estos campos afectan la fisiología de las plantas, varios estudios han informado efectos beneficiosos sobre aspectos como la germinación, la fuerza y el crecimiento de las plantas. La reacción de las plantas a los efectos magnéticos depende de factores como la intensidad del campo, el tiempo de aplicación, el tratamiento previo de las especies de semillas y plantas. Aunque los resultados no son decisivos, se ha demostrado que un efecto magnético de nueve minutos puede preferir tanto la germinación como la siembra (Alemán et al., 2020).

Un estudio experimental para analizar los efectos de los campos electromagnéticos sobre el crecimiento, el desarrollo fisiológico y la productividad del maíz, teniendo en cuenta su uso como una alternativa tecnológica sostenible en la agricultura. En este estudio, las semillas se sometieron a campos electromagnéticos antes de plantar a diferentes intervalos de tiempo, mientras que el grupo de control se creó sin exposición a fines comparativos. Los resultados han demostrado que el uso de campos electromagnéticos estimuló significativamente la germinación y el crecimiento de las plantas, influyendo positivamente en la cinética de la germinación, la longitud de la raíz, la altura de las plántulas y la síntesis de pigmento. Además, las plantas sometidas al tratamiento electromagnético mostraron un mayor rendimiento en todas las variables valoradas en relación con el grupo de control (Suárez et al., 2023).

1.2. Germinación

La germinación es un proceso complejo que se desarrolla en cuatro etapas: la primera etapa, la imbibición consiste en la absorción de agua a través de estructuras de la membranas, micropilo y celulares que permiten la rehidratación restauración de macromoléculas y sus funciones. La segunda etapa incluye síntesis y activación del sistema las enzimas y convertirlas en plántulas solubles y metabolizadas. La tercera etapa, liberación de nutrientes y energía utilizando procesos como fermentación y respiración. Finalmente, en la cuarta etapa de las células dan comienzo del crecimiento de la nueva planta. Este proceso garantiza un desarrollo exitoso del embrión y su transición a las plántulas (Azul, 2013).

La semilla tiene una estructura compleja que consiste en diferentes capas y elementos principales. Hay un pericarpio, un envoltorio rígido que actúa como una barrera protectora de grano. En el interior, el endospermo está entre el 85% y el 90% del peso del grano y es la reserva de nutrientes más importante. Finalmente, se encuentra el embrión, un ingrediente esencial en el desarrollo de la planta, que consiste en la creación, que creará la raíz y la placa desde la cual aparecerán el tallo y las hojas. Esta colocación estructural es esencial tanto para la reproducción como para la inversión nutricional de las semillas (Guacho, 2014).

1.3. Qué es el electromagnetismo

El magnetismo se define como una fuerza que se atraen o la repulsión entre ciertos materiales, especialmente los que contienen hierro. El electromagnetismo no solo implica estos efectos magnéticos, sino que también explora los fenómenos, que es el resultado del comportamiento de las cargas eléctricas cuando están en reposo o se mueven. Estas interacciones crean el nivel básico de lo que se conoce como campo electromagnético. Un claro ejemplo de este fenómeno es nuestro propio planeta, la Tierra actúa como un imán natural porque su núcleo de metal crea un campo magnético. Además, la rotación terrestre causa corrientes de electrones que ayudan a dividir este campo alrededor del planeta (Coluccio, 2019).

Este campo magnético de la Tierra no es solo una curiosidad científica, sino que también es una función importante: actúa como un escudo protector contra la luz

solar y los vientos solar obtenidos en partículas cargadas que pueden afectar negativamente a los seres vivos y los sistemas electrónicos. Sin esta área, la vida es la forma en que sabemos que esto puede no ser posible porque la atmósfera destruiría seriamente la actividad del sol. Por lo tanto, el estudio del electromagnetismo no solo nos permite comprender los fenómenos naturales, sino también evaluar su importancia para la existencia de la vida y la preservación en la Tierra (OMS, 2016).

1.4. Influencia del electromagnetismo

La energía electromagnética, que incluye campos magnéticos y electromagnéticos, puede modificar procesos celulares y moleculares en semillas. La exposición a estos campos o agua magnetizada puede alterar la movilidad de los iones de agua y las propiedades químicas físicas que contribuyen a la hidratación de las células. Estos efectos afectan directamente la germinación y el metabolismo de las semillas, que promueven la activación enzimática y una mejor absorción de nutrientes, lo que puede mejorar el desarrollo inicial de las plantas (Arenas et al., 2015).

El espectro electromagnético se clasifica en dos grupos principales de acuerdo con su energía de radiación. La radiación ionizante se separa por longitudes de onda cortas y altas frecuencias para que puedan romper los enlaces químicos y crear ionización en este caso. Por el contrario, la radiación -iya tiene longitudes de onda más largas y frecuencias más bajas e incluye tipos como radiación ultravioleta, luz visible, radiación infrarroja y programas de radio (horno de microondas, marcas de teléfonos móviles y ondas utilizadas en sistemas de radio y televisión). A diferencia de la primera, esta radiación no tiene suficiente energía para causar procesos de ionización porque no rompen el enlace molecular (Revueltas et al., 2014).

1.5. Tratamiento magnético

El tratamiento electromagnético de semillas implica exponerlas a campos magnéticos estáticos o variables de diferentes intensidades y duraciones antes de la siembra. La idea detrás de esta práctica es que los campos magnéticos pueden influir en diversos procesos fisiológicos de las semillas, como la actividad enzimática, la síntesis de hormonas y la permeabilidad de la membrana celular, lo que podría

conducir a una germinación más rápida y uniforme, así como a un crecimiento más vigoroso de las plántulas.

1.5.1. Efectos positivos:

- Mayor porcentaje de germinación.
- Mayor vigor de las plántulas. o Aumento del rendimiento de los cultivos (Luna et al.,2015).

1.5.2. Factores que influyen en la actividad del tratamiento electromagnetismo

- **Tipo de semilla:** Las diferentes especies de semillas pueden responder de manera distinta al tratamiento magnético.
- **Intensidad y duración del campo magnético:** Se ha demostrado que campos magnéticos de baja intensidad (alrededor de 5-10 mT) son más efectivos que campos magnéticos más fuertes. La duración de la exposición también parece jugar un papel importante, con tiempos óptimos que varían según la especie de semilla.
- **Condiciones ambientales:** Los factores ambientales, como la temperatura y la humedad, también pueden influir en la respuesta de las semillas al tratamiento magnético. (Carbonell., 2013)

1.6. Estudio del tratamiento electromagnetismo

La germinación de las semillas es un proceso crucial en el ciclo de vida de las plantas, marcando el inicio del desarrollo de un nuevo individuo. Este proceso complejo está regulado por una serie de eventos fisiológicos y bioquímicos que se desencadenan por la absorción de agua y la reanudación del crecimiento embrionario. Diversos factores ambientales y fisiológicos pueden afectar la tasa de germinación, incluyendo la temperatura, la humedad, la luz, la disponibilidad de oxígeno y la presencia de inhibidores. (Zuluaga y Esteban, 2022)

1.6.1. Bases teóricas del tratamiento electromagnetismo

El tratamiento magnético de semillas se basa en la idea de que los campos magnéticos pueden influir en diversos procesos biológicos, incluyendo la germinación

de las semillas. Los mecanismos por los cuales los campos magnéticos podrían afectar la germinación no están completamente comprendidos:

- **Alineación de moléculas:** Los campos magnéticos podrían alinear las moléculas diamagnéticas y paramagnéticas presentes en las semillas, lo que podría afectar la actividad enzimática, la síntesis de hormonas y la permeabilidad de la membrana celular.
- **Generación de corrientes eléctricas:** Los campos magnéticos variables podrían generar corrientes eléctricas débiles en las semillas, lo que podría estimular la actividad fisiológica **(**Torres et al., 2008**).**

1.2. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

1.2.1. Morfología general

El pimiento es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las solanáceas (Solanaceae). Su altura varía entre 30 cm y 1,5 m, dependiendo de la variedad. El tallo es erecto, ramificado y presenta una coloración verde o violácea. Las hojas son simples, alternas, de forma ovalada o lanceolada, con bordes enteros o dentados, y de color verde intenso. (Vázquez., 2023)

1.2.2. Origen del pimiento

El pimiento (Capsicum annuum) proviene de América, principalmente en México, Guatemala y Perú, donde fue domesticado hace más de 6,000 años. Después de que Europa llega a Estados Unidos, fue llevado a Europa y luego se extendió por todo el mundo.

El pimiento es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las solanáceas (Solanaceae). Su altura varía entre 30 cm y 1,5 m, dependiendo de la variedad. El tallo es erecto, ramificado y presenta una coloración verde o violácea. Las hojas son simples, alternas, de forma ovalada o lanceolada, con bordes enteros o dentados, y de color verde intenso. (Vázquez., 2023)

1.2.3. RAÍZ

Tipo de raíz: Axonomorfa

Descripción: Presenta una raíz principal de la que se ramifican raíces secundarias y adventicias. Las raíces adventicias se desarrollan en los tallos y ayudan a la absorción de agua y nutrientes. (Suárez, 2023).

1.2.4. TALLO

Tipo de tallo: Herbáceo, erecto y ramificado.

Descripción: El tallo presenta una coloración verde o violácea, y su superficie puede ser lisa o pubescente (con pelos). Las ramas se distribuyen de manera dicotómica. (Suárez, 2023).

1.2.5. HOJAS

Tipo de hojas: Simples, alternas.

Descripción: Las hojas son de forma ovalada o lanceolada, con bordes enteros o dentados. Su color es verde intenso, aunque algunas variedades pueden presentar tonos púrpuras o amarillentos. Las hojas están provistas de un pecíolo que las une al tallo. (Suárez, 2023).

1.2.6. TAXONOMÍA

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoideae
Género:	Capsicum
Especie:	Capsicum annuum

(Vázquez., 2023)

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general:

Evaluar el tratamiento electromagnético en germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*).

1.3.2. Objetivos específicos:

Determinar el tiempo de exposición en el campo electromagnético en semillas de pimiento

Determinar la cantidad adecuada de ondas electromagnético en la germinación de semillas.

CAPÍTULO II
METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del estudio

El proyecto se llevó a cabo específicamente en el área de aclimatación ubicados en los predios de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, ubicada en el cantón Cevallos, provincia de Tungurahua. Sus coordenadas geográficas son 01° 22´02" de latitud Sur y 78° 36´ 20" de longitud Oeste, la localidad se halla a 2865 msnm a una altitud de 2800 msnm con una temperatura promedia de 22°C.

2.2. Caracterización del lugar.

El lugar de la investigación se realizó en el edificio de investigación en el área de aclimatación. La estructura, construida principalmente de bloque, estaba equipada con una cubierta de plástico que evitó el exceso de luz solar, además proporcionó una barrera contra las condiciones climáticas, tales como lluvias fuertes o vientos excesivos.

2.3. Equipos y materiales

2.3.1. Equipos

- Placa magnética

2.3.2. Materiales

- Bandejas de germinación
- Sustrato

2.3.3. Material de oficinas

- Lápiz o Esferos
- Cuaderno de apuntes
- Celular

2.4. Factores de Estudio:

2.4.1. Factor 1: Micro teras (µT)

- O1 200
- O2 400
- O3 600

2.4.2. Factor 2: Tiempo de exposición a las cargas electromagnéticas

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

2.5. Manejo del experimento

2.4.3. Tratamientos

Tabla 1. Tratamientos y simbología

Tratamientos	Simbología	Descripción
T 1	T1 O1	Tratamiento 1 tiempo de exposición a 5 minutos, a 200 micro teras
T 2	T1 O2	Tratamiento 1 tiempo de exposición a 10 minutos, a 400 micro teras
T 3	T1 O3	Tratamiento 1 tiempo de exposición a 20 minutos, a 600 micro teras
T 4	T2 O1	Tratamiento 2 tiempo de exposición a 5 minutos, a 200 micro teras
T 5	T2 O2	Tratamiento 2 tiempo de exposición a 10 minutos, a 400 micro teras
T 6	T2 O3	Tratamiento 2 tiempo de exposición a 20 minutos, a 600 micro teras
T 7	T3 O1	Tratamiento 3 tiempo de exposición a 5 minutos, a 200 micro teras
T 8	T3 O2	Tratamiento 3 tiempo de exposición a 10 minutos, a 400 micro teras
T 9	T3 O3	Tratamiento 3 tiempo de exposición a 20 minutos, a 600 micro teras
T 10	TESTIGO	TESTIGO

2.4.4. Diseño experimental

T1 O1	T2 O1	T3 O1
T3 O3	T1 O3	T1 O2
T2 O2	T3 O2	T2 O3
	TESTIGO	

El diseño experimental que se utilizo es el diseño de bloques al azar en arreglo factorial de 3*3+1 en repeticiones.

Tabla 2. distribución de los tratamientos.

2.5.1. Preparación de las bandejas de germinación

Para garantizar condiciones homogéneas de crecimiento, todos los tratamientos, incluidos los testigos, fueron sembrados en su respectiva bandeja de germinación con tierra como sustrato. Antes de la siembra, el sustrato fue preparado y humedecido uniformemente para favorecer a las semillas y crear condiciones óptimas para su germinación.

2.5.2. Exposición a las cargas electromagnéticas

Luego de colocar las semillas en la placa electromagnética fueron sometidas durante 4 días en tiempos de 5, 10 y 20 minutos con tres repeticiones, se expusieron a las cargas electromagnéticas en tiempos variados, a excepción de las semillas que se utilizara como testigos.

2.5.3. Siembra

La siembra se realizó después de los 4 días de a ver aplicado el tratamiento, luego se procedió a colocar las semillas en las bandejas previamente preparadas.

2.6. VARIABLES DE RESPUESTA

2.6.1Porcentaje de germinación

Se calculó el porcentaje de germinación luego de 30 días con la siguiente fórmula:

$$\frac{número\ de\ semillas\ germinadas}{total\ de\ semillas} X100$$ (Biotestlab. 2023).

1.6.2. Longitud radicular

Para medir la longitud radicular se utilizó una cinta métrica se tomó la distancia desde la base de tallo hasta el extremo de la raíz, para obtener el valor específico se midió con la cinta métrica a los 40 días de haber realizado el ensayo, todos los resultados son tomados en centímetros (cm).

2.6.3. Volumen de raíz

El volumen radicular de las plantas se midió con el uso de una probeta en la que se rellenó de agua, marcando los 9 ml. Transcurridos los 40 días de haber realizado la siembra, tiempo suficiente para que las raíces se desarrollen y tengan un tamaño representativo se introdujo la raíz de cada planta en la probeta y el desplazamiento volumétrico en la probeta fue el volumen radicular.

2.6.4. Altura de la planta

A los 40 días de haber iniciado el ensayo se procedió a registrar la altura de cada planta. En el proceso se utilizó una regla que se colocó de forma vertical junto a la planta, tomando como base la parte del tallo que emerge del suelo estirándole hasta el ápice de la planta.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación

El test de Tukey al 0,005 % reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1O1 presentó la media más alta (100,00) y se ubicó en el grupo estadístico "A", lo que indica que es significativamente superior al resto de tratamientos, especialmente al testigo (63,33), que se encuentra únicamente en el grupo "B".

Tabla 3. Análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación

Tratamientos	Medias	E.E.		
T1O1	100,00	8,27	A	
T3O3	96,67	6,75	A	B
T1O2	96,67	6,75	A	B
T2O3	93,33	6,75	A	B
T2O2	93,33	6,75	A	B
T3O2	93,33	6,75	A	B
T2O1	93,33	6,75	A	B
T1O3	83,33	6,75	A	B
T3O1	83,33	6,75	A	B
TESTIGO	63,33	6,75		B

Los tratamientos como T3O3, T2O1 y T2O3 se ubicaron en el grupo "A B", lo que sugiere que no diferencia significativamente ni de T1O1 ni del grupo B, posicionándose como intermedios. El resto de tratamientos, junto con el testigo, pertenecen únicamente al grupo "B", lo que indica un rendimiento significativamente inferior respecto al mejor tratamiento (T1O1).

Por lo tanto, el T1O1 es el tratamiento más efectivo, con diferencias estadísticamente significativas respecto a la mayoría de los demás tratamientos, especialmente frente al testigo.

Altura de planta

Este resultado sugiere que el tratamiento T1O3 tuvo un efecto positivo destacado en la variable evaluada, siendo el único tratamiento que superó el umbral de diferencia mínima significativa.

Tabla 4. Análisis de varianza para la variable altura de planta en pimiento

Tratamientos	Medias	E.E.		
T1O3	6,20	0,27	A	
T3O2	5,27	0,27	A	B
T2O2	5,20	0,27	A	B
T3O1	5,13	0,27	A	B
T1O2	5,03	0,27	A	B
T1O1	4,95	0,33	A	B
T2O1	4,77	0,27	A	B
T3O3	4,63	0,27		B
TESTIGO	4,60	0,47		B
T2O3	4,33	0,27		B

De acuerdo con el análisis, se identificaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1O3 presentó la media más alta (6,20) y fue significativamente superior al resto de los tratamientos, al ubicarse en un grupo distinto (letra A), mientras que los demás tratamientos, incluyendo los testigos, compartieron la letra B, lo que indica que no difieren significativamente entre sí.

Longitud radicular

Con base en el análisis no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. A pesar de que el tratamiento T2O3 presentó la media más alta, no difiere estadísticamente del resto.

Tabla 5. Prueba de tukey al 5% para la variable longitud radicular en pimiento

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	409,73	9	45,53	0,82	0,6057
T1O1	409,73	9	45,53	0,82	0,6057
Error	1055,41	19	55,55		
Total	1465,14	28			

Se recomienda repetir el experimento bajo condiciones más controladas o con mayor número de repeticiones para reducir la variabilidad y mejorar la precisión de los resultados.

Diámetro del tallo

No se detectó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, ya que todos presentaron exactamente el mismo valor (0.1) en cada repetición. Esta ausencia total de variabilidad impide calcular la estadística, por lo que no fue posible aplicar la prueba de comparaciones múltiples de Tukey.

Tabla 6. Prueba de Tukey 5% para la variable diámetro tallo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,00	9	0,00	sd	sd
T1O1	0,00	9	0,00	sd	sd
Error	0,00	17	0,00		
Total	0,00	26			

Esto indica que los tratamientos no tuvieron efecto diferenciador sobre la variable medida, o bien que la variable utilizada no fue sensible para detectar cambios. Por tanto, se concluye que todos los tratamientos, incluido el testigo, tuvieron un comportamiento estadísticamente igual bajo las condiciones del experimento**.**

VOLUMEN RADUCULAR

Todos los tratamientos comparten la misma letra ("A"), lo cual indica que ninguno difiere estadísticamente de los demás al nivel.

Tabla 7. Prueba de Tukey 5% para la variable volumen radicular

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,7E-04	9	9,6E-05	0,70	0,6997
T1O1	8,7E-04	9	9,6E-05	0,70	0,6997
Error	2,3E-03	17	1,4E-04		
Total	3,2E-03	26			

Las medias de los tratamientos están muy cercanas entre sí, oscilando entre 0,10 y 0,11, con un error estándar (E.E.) de 0,01, lo cual refleja una variación mínima.

El test de Tukey mostró que no existen diferencias significativas entre los tratamientos**,** ya que todos compartieron la misma letra ("A")**.**

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El tratamiento con campo electromagnético influye positivamente en la germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*), demostrando que dicha técnica puede ser utilizada como una alternativa para mejorar los procesos fisiológicos iniciales del desarrollo vegetal.

Se determinó que el tiempo de exposición al campo electromagnético es un factor clave, ya que ciertos intervalos de exposición promovieron una germinación más rápida y uniforme en comparación con el testigo. Esto sugiere que existe un rango óptimo de duración para obtener resultados favorables.

En cuanto a la cantidad de ondas electromagnéticas aplicadas, se identificaron niveles específicos que favorecen significativamente el porcentaje de germinación. Exposiciones demasiado bajas o demasiado altas pueden no generar efectos positivos o incluso inhibir el proceso.

4.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda establecer rangos más altos y específicos de tiempo y dosis de campos electromagnéticos que maximicen la germinación, longitud radicular, altura de planta, diámetro de tallo, basados en los resultados experimentales obtenidos.

Se recomienda realizar más repeticiones para obtener un muestreo más amplio de cada tratamiento así puede a ver diferencia significativa en la toma de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemán, E., Roca, L. B., Barrera Roca, L., Fung Boix, Y., & Ferrer Dubois, A. (2020). Efecto del tratamiento electromagnético de frecuencia extremadamente baja en el proceso de germinación de habichuela (Vigna unguiculata L.). 47(3), 51–58. http://cagricola.uclv.edu.cu

Arenas, A., Angarita, W., & Jácome, R. (2015). Data driven fault detection and isolation: a wind turbine scenario. Revista Tecnura, https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a05

Azul, C. (2013). GERMINACIÓN DE SEMILLAS. In Fisiología vegetal. UNNE. 71.

Benavides, A., & Ramírez, H. (2002). RESPUESTAS DE LA PLANTAS A LA RADIACION ELECTROMAGNETICA [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19278.61769

Biotestlab. (2023). ¿Qué es y cómo se calcula? Obtenido de: Poder germinativo: ¿Qué es y cómo se calcula? - BiotestLab

Carbonell, M., Martínez, E., & Flórez, M. (2013). El tratamiento magnético estimula la germinación de semillas. Obtenido de: https://www.redalyc.org/pdf/2311/231130851010.pdf

Dziwulska-Hunek, A., Niemczynowicz, A., Kycia, R. A., Matwijczuk, A., Kornarzyński, K., Stadnik, J., & Szymanek, M. (2022). Stimulation of soy seeds using environmentally friendly magnetic and electric fields. ArXiv. Obtenido de: [2211.09240] Stimulation of soy seeds using environmentally friendly magnetic and electric fields

García, F., Lago, L., & Moreno, D. (2009). TRATAMIENTO MAGNETICO DE SEMILLAS Y MATERIAL REPRODUCTIVO DE USO AGRÍCOLA. Obtenido de https://sac.org.co/wp-content/uploads/2013/05/Cartilla-TM.pdf

Guacho, F. (2014). "CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLOGICA DEL MAÍZ (Zea mays L.) DE LA LOCALIDAD SAN JOSÉ DE CHAZO." ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Luna, E., Gómez, J.J., Lora, R., & Abueta, R. (2015). Efecto de la magnetización de semillas de papa criolla (*Solanum phureja juz*) sobre la calidad y rendimiento. Obtenido de: https://revistas.udca.edu.co/index.php/rcdi/article/download/506/430/841

SINC, (2012). El tratamiento magnético estimula la germinación de semillas. Obtenido de El tratamiento magnético estimula la germinación de semillas (agenciasinc.es)

Suárez, D., Galvis, J., Guzmán, T., & Ardisana, E. (2023). Efecto de campos electromagnéticos inducidos a baja intensidad sobre procesos morfo-fisiológicos y de productividad de Zea mays L. var Porva, como alternativa tecnológica sostenible para la producción agrícola.

Suárez, P. (2023). Manejo agronómico del cultivo de pimiento (Capsicum annuum L.) en el Ecuador. Obtenido de: http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13921/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000494.pdf?sequence=1Zuluaga, M; Esteban, D. (2022). El tratamiento magnético estimula la germinación de semillas. Obtenido de: https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/17734

Torres, C., Díaz, J., & Cabal, P. (2008). Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (Oryza sativa L.) y tomate (Solanum lycopersicum L.). Obtenido de: https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732002.pdf

Torres, C., Díaz, J., & Cabal, P., (2008). Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (Oryza sativa L.) y tomate (Solanum lycopersicum L. Obtenido de Redalyc.Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (Oryza sativa L.) y tomate (Solanum lycopersicum L.)

Vázquez, J. (2023) ¿Qué es el Capsicum annuum? Obtenido de: Capsicum annuum: qué es, características, cultivo, propiedades

ANEXOS







