

Análisis del desarrollo vegetativo de plantas de *Solanum lycopersicum* L., generadas de semillas tratadas magnéticamente.

Elisabed Villa Carmona.

Universidad de Caldas
Facultad de ciencias agropecuarias
Programa de ingeniería agronómica
Manizales, Colombia
2023.

**Análisis del desarrollo vegetativo de plantas de *Solanum lycopersicum* L.,
generadas de semillas tratadas magnéticamente.**

Elisabed Villa Carmona

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera agrónoma

Director:

M. Sc. Javier Torres Osorio M. Sc. Ph. D. (c)

Codirectora:

Ph. D. Carolina Zamorano Montañez.

Grupo de investigación en Magnetobiología.

Línea de Investigación:

Magnetobiología.

Universidad de Caldas
Facultad de ciencias agropecuarias
Programa de ingeniería agronómica
Manizales, Colombia
2023

Con todo el cariño, dedico este trabajo a:

Mi familia

por el amor y el apoyo incondicional.

Sincera gratitud a:

Javier Torres Osorio y Carolina Zamorano Montañez, directores del trabajo de grado,
por el conocimiento compartido, y el tiempo dedicado.

Juan Pablo Penagos, asesor estadístico, por el trabajo realizado y los valiosos aportes.

Contenido

1. Resumen	9
2. Abstract.....	10
3. Introducción.....	11
4. Materiales y métodos	14
5. Resultados	18
6. Discusión.....	25
7. Conclusiones	29
8. Bibliografía	30
9. Anexos	35

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz de correlaciones de Pearson para las variables naturales a los 21 ddt.

Tabla 2. Matriz de correlaciones de Pearson para las variables naturales a los 35 ddt.

Lista de figuras

Figura 1. Caracterización espacial de la densidad de flujo magnético **(a)** y plano transversal del imán toroidal **(b)** (Torres *et al.*, 2018). Imán con el soporte impreso en 3D (rosado) **(c)**.

Figura 2. Condiciones agroclimáticas durante la etapa vegetativa. Comportamiento de la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) durante el día en la etapa vegetativa **(a)**. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) durante el día en la etapa vegetativa y punto de compensación (PC) **(b)**.

Figura 3. Comparación del área foliar (AF) **(a)**. Comparación de la altura de la planta (Alt., planta) **(b)** de los dos tratamientos en función del tiempo (t) medido en días después del trasplante (ddt).

Figura 4. Comparación del diámetro del tallo (Φ tallo) **(a)**. Comparación del contenido de clorofilas (cont., clorofila) **(b)** de los dos tratamientos (TM y T0) en función del tiempo (t) medido en días después del trasplante (ddt).

Figura 5. Comparación del número de hojas (Nº hojas) de los dos tratamientos (TM y T0) en función del tiempo (t) medido en días después del trasplante (ddt).

Lista de anexos

Anexo 1. Unidades experimentales extraídas para la normalización de los tratamientos estadísticos.

Anexo 2. Valores p para la prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* con corrección de *Lilliefors*.

Anexo 3. Resultados de la comprobación de la condición de *Mauchly* para medidas repetidas y valores ϵ para corrección de grados de libertad.

Anexo 4. Fragmentos del ANDEVA de medidas de repetidas para cada variable de estudio.

Anexo 5. Fragmentos del ANDEVA de medidas de repetidas para cada variable de estudio.

Anexo 6. Estadísticos descriptivos para el área foliar.

Anexo 7. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* para el área foliar.

Anexo 8. Estadísticos descriptivos de la altura de la planta.

Anexo 9. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* para la altura.

Anexo 10. Estadísticos descriptivos del diámetro.

Anexo 11. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el diámetro.

Anexo 12. Estadísticos descriptivos del contenido de clorofila.

Anexo 13. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el contenido de clorofila.

Anexo 14. Estadísticos descriptivos del número de hojas.

Anexo 15. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el número de hojas.

1. Resumen

El tomate es la hortaliza con mayor importancia económica y alimenticia en el mundo. Para satisfacer la demanda creciente, los sistemas productivos deben integrar métodos novedosos con criterios de rentabilidad, sostenibilidad ambiental y bienestar social. El tratamiento magnético de semillas es una técnica de aplicación accesible, bajo costo y puede favorecer el metabolismo vegetal. Este trabajo de tipo explicativo- validatorio, buscó analizar el efecto del tratamiento de semillas con campo magnético estático no homogéneo sobre el desarrollo vegetativo de *Solanum lycopersicum* L., a través de la evaluación de la fenología y la cinética del crecimiento de la planta. Se evaluaron variables morfométricas y bioquímicas no destructivas dos veces por semana. El área foliar se calculó sobre la tercera hoja verdadera por tratamiento de imagen con la aplicación para dispositivos móviles *Easy leaf area free*, la altura de la planta se midió con un distanciómetro láser *Fluke 480D*, el diámetro del tallo se midió con un pie de rey *Mitutoyo absolute digimatic* (CD-8" CSX-B), el contenido de clorofilas se cuantificó con el clorofilómetro portátil *Spad 502 Plus* (Konica Minolta INC) en dos hojas por planta. La metodología para el tratamiento magnético de semillas de tomate fue desarrollada experimentalmente por el grupo de investigación en Magnetobiología. Los resultados indicaron que las plantas generadas por tratamiento magnético de semillas presentaron mayor altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y contenido de clorofila que las plantas generadas de semillas no tratadas. Las plantas provenientes de semillas tratadas magnéticamente presentaron 21 % más área foliar y 9 % más altura que las plantas germinadas de semillas que no fueron expuestas a campo magnético. Por tanto, se concluye que la exposición de semillas de tomate a campo magnético estático no homogéneo favorece el desarrollo vegetativo de las plantas.

Palabras clave: tomate, campo magnético estático no homogéneo, crecimiento, fenología.

2. Abstract

The tomato is the vegetable with the greatest economic and nutritional importance in the world. To satisfy the increasing demand, the production systems must integrate innovative methods with criteria of profitability, environmental sustainability and social welfare. Magnetic seed treatment is an accessible, low-cost application technique that can promote plant metabolism. This validation-explanatory type work sought to analyze the effect of seed treatment with a non-homogeneous static magnetic field on the vegetative development of *Solanum lycopersicum* L., through the evaluation of the phenology and the kinetics of plant growth. Non-destructive morphometric and biochemical variables were evaluated twice week. Leaf area was calculated on the third true leaf by image processing with the *Easy leaf area free* mobile application, plant height was measured with a *Fluke 480D* laser distance meter, stem diameter was measured with a caliper *Mitutoyo absolute digimatic* (CD-8" CSX-B), the chlorophyll content was quantified with the *Spad 502 Plus* portable chlorophyllometer (Konica Minolta INC) in two leaves per plant. The methodology for the magnetic treatment of tomato seeds was developed experimentally by the Magnetobiology research group. The results indicated that plants generated by magnetic seed treatment had greater height, stem diameter, number of leaves, leaf area and chlorophyll content than plants generated from untreated seeds. Plants from magnetically treated seeds had 21 % more leaf area and 9 % more height than plants germinated from seeds that were not exposed to a magnetic field. Therefore, it is concluded that the exposure of tomato seeds to a non-homogeneous static magnetic field favors the vegetative development of the plants.

Keywords: tomato, non-homogeneous static magnetic field, growth, phenology.

3. Introducción

El tomate es la hortaliza con mayor demanda en el mundo. En 2021 se produjeron más de 189 Mt a nivel global y el área cultivada superó 5 Mha. Colombia registró 18 245 ha cultivadas con tomate en 2021, y aportó el 0.450 % (851 177 t) de la producción mundial. Ese año, el promedio del rendimiento de los cultivos en Colombia fue de 46.653 t ha⁻¹, mientras que China alcanzó 59.207 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2023). Dada la importancia alimenticia y económica del tomate, el país afronta el reto de mejorar la productividad. Para generar respuestas rentables y sostenibles, se deben integrar criterios de diversas disciplinas. Los métodos físicos aplicados a la agricultura han mostrado potencial para favorecer el desarrollo vegetal y mejorar la adaptación de las plantas a condiciones ambientales desfavorables.

El tratamiento magnético de semillas (TMS) se destaca por ser una técnica no invasiva, rentable, segura, y aplicable (Dhawi, 2014; Fátima *et al.*, 2020; Nyakane *et al.*, 2019). El TMS tiene potencial para generar efectos positivos en la fisiología vegetal al intensificar el intercambio de materiales y favorecer el balance energético (Aladjadjyan, 2007; Vasilevski, 2003). Los efectos derivados del TMS varían de acuerdo con los parámetros experimentales, la especie vegetal y la etapa de desarrollo (Dziwulska-Hunek *et al.*, 2020). Por tanto, el TMS es una tecnología agrícola promisoriosa, y se puede considerar un método asequible y respetuoso con el ambiente (Abdel Latef *et al.*, 2020). Es posible que la amplitud, el gradiente y la frecuencia de campos magnéticos aplicados a semillas secas, generen efectos combinados sobre la fotosíntesis, la actividad enzimática, la absorción de nutrientes, el transporte de asimilados, los reguladores del crecimiento y las relaciones hídricas (De Souza-Torres *et al.*, 2020). Sin embargo, aún se desconocen los mecanismos

bioquímicos modificados por el TMS que generan cambios en los indicadores de crecimiento.

Desde el nivel celular, tisular y de órganos, existen evidencias de que el TMS genera efectos variados. Puede aumentar el contenido de fitohormonas en las semillas germinadas, en el epicótilo y en la radícula de las plántulas (Podleśny *et al.*, 2021). La aplicación de TMS se ha relacionado con cambios en las funciones reguladoras del metabolismo vegetal, incluida la homeóstasis intracelular de Ca^{2+} y el incremento de la actividad hidrolítica de enzimas α amilasa y proteasa (Belyavskaya, 2004; Kataria *et al.*, 2017). El TMS puede reducir la producción de H_2O_2 , e incrementar la actividad de las enzimas de eliminación que controlan los radicales libres, que son responsables de alterar la integridad de la membrana (Radhakrishnan, 2019; Agustrina *et al.*, 2020).

Una de las hipótesis que busca proponer explicaciones sobre por qué el TMS puede mejorar el rendimiento del cultivo, apunta a que las plantas generadas con TMS presentan cambios en el desarrollo vegetativo y foliar (Aladjadjian, 2007). Lo anterior resulta relevante porque las hojas ejecutan procesos como la transpiración, la respiración y la fotosíntesis. Por su parte, la fotosíntesis es un proceso metabólico sensible a la variación de los factores ambientales, y cumple la función fisiológica de transformar la energía electromagnética que porta la radiación solar en energía química (Nobel, 1999; Răcuciu, 2020). Investigaciones sobre el efecto del TMS sobre tejido foliar han descrito cambios en la conductancia estomática, la transpiración y el contenido de lípidos polares (Radhakrishnan, 2019; Vashisth *et al.* 2021). Los cambios en la organización del cloroplasto sugieren que el TMS promueve la mitosis y la redistribución de los orgánulos (Small *et al.*, 2012). La composición molecular de las células también se relacionó en el TMS, por generar cambios en el

contenido de pigmentos (Aladjadjian & Zahariev, 2002; Aladjadjian, 2010; Dziwulska-Hunek *et al.*, 2020; Taia *et al.*, 2007).

El TMS tiene un efecto de larga duración en los organismos vegetales, que puede favorecer la interceptación de luz, la fotosíntesis, y, en consecuencia, la cantidad de asimilados disponibles para el crecimiento vegetativo y la fructificación (Shine *et al.*, 2011; De Souza *et al.*, 2006). El TMS puede mitigar los efectos adversos inducidos por el estrés salino, lumínico y térmico, lo que resulta provechoso para que las plantas puedan tolerar condiciones abióticas desfavorables en todas las etapas fenológicas (Baghel *et al.*, 2018; Anand *et al.*, 2012; Golbaz, 2019; Radhakrishnan, 2019).

Diversas variables se han cuantificado para evaluar el impacto de los TMS sobre el desarrollo vegetal. Por ejemplo, los incrementos en la tasa de germinación y el vigor I y II de las plántulas se han asociado con la activación fitohormonal derivada del TMS (Anand *et al.*, 2019; Jabail *et al.*, 2013; Laksmiari, 2021; Kataria *et al.*, 2017; Vashisth *et al.* 2021). El contenido de clorofila es dependiente de la absorción de minerales presentes en la solución del suelo, sobre todo nitrógeno (Rochalska, 2005). En el mismo sentido, Sarraf *et al.* (2020), determinaron que el TMS mejora la capacidad de las plantas para absorber agua, traslocar nutrientes, y fijar N (de Souza *et al.*, 2006). Vashisth *et al.*, (2021), reportaron que el TMS de *Solanum lycopersicum* L., optimiza la conversión de radiación solar en biomasa del cultivo. En tomate, también se confirmó el efecto positivo del TMS sobre la altura de la planta, la longitud de la raíz, la masa seca de raíces y brotes, el área foliar, la masa específica de las hojas (Agustrina *et al.*, 2016; De Souza-Torres *et al.*, 2020; Kataria *et al.*, 2020). La experimentación con TMS pretende generar respuestas que favorezcan las características productivas de los agroecosistemas. Sin embargo, hasta el momento no se

han desarrollado en Colombia trabajos que permitan conocer los efectos del TMS sobre la fenología del desarrollo vegetativo, el crecimiento y la fotosíntesis de las plantas de *Solanum lycopersicum* L., cultivado bajo invernadero. El trabajo tuvo como objetivo analizar el efecto del tratamiento de semillas con campo magnético estático no homogéneo sobre el desarrollo vegetativo de *Solanum lycopersicum* L., a través de la evaluación de la fenología vegetativa, la cinética del desarrollo y el contenido de clorofilas.

4. Materiales y métodos

En el presente apartado se describen los materiales y los métodos utilizados en la ejecución del trabajo. El mismo, estuvo enfocado en primera instancia al componente de formación investigativa, y fue parte de un proyecto de investigación formal en un contexto de tesis doctoral.

4.1. Localización. El TMS se aplicó en el laboratorio de Magnetobiología de la Universidad de Caldas, Manizales. El establecimiento del cultivo y la medición de las variables no destructivas ocurrió en el invernadero de la finca La Martinica 5°08'27" N 75°44'32" E, ubicada en el municipio de Risaralda - Caldas, a 1 110 msnm (GoogleEarth, 2023).

4.2. Material vegetal. Se trabajó con la variedad comercial de tomate Santa Cruz®.

4.3. Tratamiento magnético. Las semillas fueron tratadas con campo magnético (*B*) estático no homogéneo, por medio del uso de un imán toroidal dipolar, magnetizado a través del espesor, con valor nominal de inducción magnética de 100 mT. Este tipo de imán fue caracterizado por Torres *et al.*, (2018).

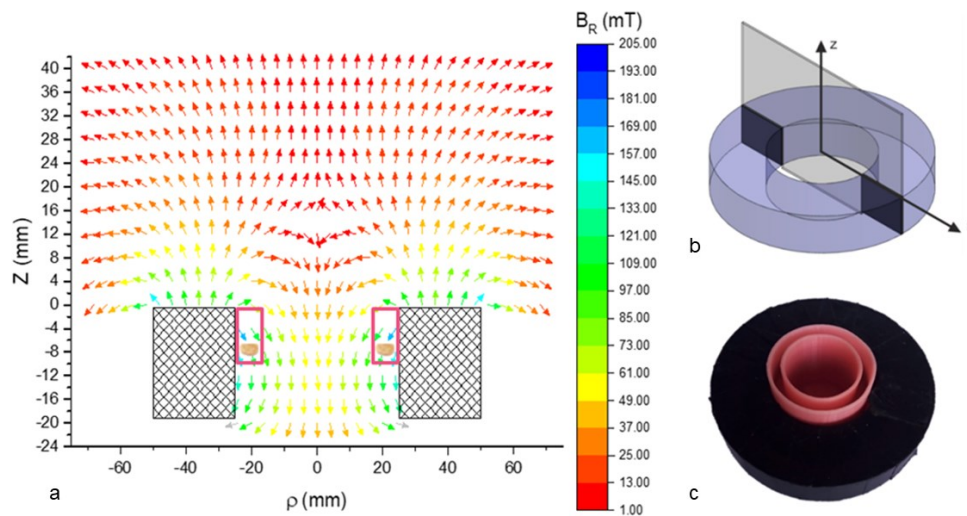


Figura 1. Caracterización espacial de la densidad de flujo magnético (a) y plano transversal del imán toroidal (b) (Torres *et al.*, 2018). Imán con el soporte impreso en 3D (rosado) (c).

4.4. Trasplante. El trasplante se realizó 26 días después de la siembra (dds), cuando las plantas presentaban tres hojas verdaderas abiertas. Los individuos se dispusieron al interior del invernadero en materas de 20 l, el sustrato fue una mezcla de suelo y abono orgánico (1:1). Las distancias de siembra fueron 0.40 m entre materas y 1.40 m entre surcos.

4.5. Diseño experimental. Se aplicó un diseño experimental de medidas repetidas completamente al azar con dos tratamientos: TM correspondió a las plantas obtenidas de semillas tratadas magnéticamente, y T0 fueron las plantas cuyas semillas no se trataron con campo magnético. Como unidad experimental se evaluaron 75 plantas por tratamiento para asegurar que el número de unidades experimentales fuera mayor a cinco veces el número de variables de salida. Para cancelar el efecto borde, el experimento se ubicó en la zona central del cultivo comercial compuesto por 3 300 plantas. Las plantas se distribuyeron del experimento en un rectángulo formado por nueve surcos con 25 materas cada uno. El

rectángulo se rodeó con 37 plantas al costado derecho, 38 plantas al costado izquierdo, en la parte de arriba 15 surcos y abajo 11 surcos.

4.6. Condiciones agroclimáticas del invernadero. La temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y la humedad relativa (%) se midieron todos los días de forma automática con el sensor *HOBO MX2301* (Onset), configurado para realizar mediciones cada 15 s y almacenar los estadísticos de las mediciones (máx., mín., y media) cada 30 min. El sensor se ubicó en el centro del rectángulo formado por las unidades experimentales, a 1.5 m sobre el suelo. Los grados día de desarrollo (GDD) se calcularon como la diferencia entre la temperatura media diaria del aire (T_m) y la temperatura base (T_b) (McMaster, G. S., & Wilhelm, 1997). La radiación fotosintéticamente activa (W m^{-2}) se midió con el equipo portátil *LI-COR 250A*. Las mediciones se realizaron dos veces por semana, con intervalos de una hora entre las 6:00 a. m., y las 6:00 p. m.

4.7. Variables de respuesta. Para conocer el efecto del tratamiento magnético sobre el desarrollo vegetativo de las plantas de tomate, las mediciones se realizaron dos veces por semana durante cuatro semanas después del trasplante. Se calculó el área de la tercera hoja verdadera con la aplicación móvil *Easy leaf area free* (versión 1.02) (Easlon & Bloom, 2014). Esta aplicación requiere una referencia de color para calcular el área de la hoja por conteo de píxeles. Para tal fin, se usó un cuadrado de foami rojo de 4 cm^2 sujeto sobre una base rectangular de cartón cubierto con acetato. Las fotografías se tomaron desde arriba e incluyeron el raquis. La altura de la planta se midió con un distanciómetro láser *Fluke 480D*, desde la superficie del sustrato hasta el meristemo apical caulinar de la planta. El diámetro del tallo se midió con un pie de rey *Mitutoyo absolute digimatic* (CD-8" CSX-B) en el punto de inserción de los cotiledones. El contenido de clorofilas se cuantificó con el clorofilómetro

portátil *Spad 502 Plus* (Konica Minolta INC) en dos hojas al azar por planta, desde las 11:00 a. m., para coincidir con el pico de la radiación fotosintéticamente activa (RFA). Para determinar el número de hojas por planta se tuvieron en cuenta las hojas con más de tres folíolos desplegados.

4.8. Manejo agronómico. El sistema de riego fue por goteo, con uso de manifold para distribuir el caudal de salida de cada gotero entre cuatro estacas, una estaca por matero. El plan nutricional se basó en los resultados del análisis de suelo y la extracción del cultivo. Las enmiendas nutricionales se aplicaron por fertirriego y mediante aspersiones foliares. El sistema de tutorado fue a dos ejes y se fijó a 2.0 m de altura. Como segundo eje se seleccionó la yema axilar emergente debajo del primer racimo floral.

4.9. Análisis estadístico. Para lograr una comparación fiable, se verificó el ajuste de los datos a una distribución normal. Los datos anómalos, superiores o iguales a un valor absoluto para Z de 2 ($|Z| \geq 2$), se depuraron con la prueba de *Dixon* y la prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* con corrección de *Lilliefors* de manera secuencial (ver anexos 1 y 2). Se determinaron los valores de probabilidad para el ajuste de normalidad de los tratamientos estadísticos con 5 % de significancia de la prueba ($\alpha=0.05$).

4.9.1. Estudio longitudinal. Se realizó un ANDEVA de medidas repetidas con método de estimación de mínimos cuadrados para cada variable de respuesta con el fin de conocer el efecto de los tratamientos (TM y T0) y el tiempo sobre las magnitudes. Se aplicó la prueba de *Mauchly* de la condición de *Huynh-Feldt* para mediciones repetidas, con el fin de determinar si la matriz de varianza-covarianza de cada variable de respuesta presentaba forma esférica, o circular (ver anexo 3). En los casos que no se cumplió tal condición

(valores $p < 0.05$), se determinaron los valores ϵ de *Greenhouse-Geisser* y *Huynh-Feldt*, para realizar el ajuste de los grados de libertad en la prueba F de los ANDEVA (ver anexo 4). Las comparaciones por pares se hicieron con la prueba de *Dunnet* en tratamientos estadísticos que arrojaron diferencias en los ANDEVA. Las pruebas descritas se hicieron con 5 % de significancia.

4.9.2. Estudio correlacional transeccional. Se seleccionaron dos momentos para realizar el estudio correlacional, 21 y 35 ddt. Para los dos días se realizaron análisis de componentes principales (ACP) de manera independiente. También se aplicaron las pruebas de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) y esfericidad de *Bartlett*, con el fin de determinar la pertinencia de aplicar el análisis factorial a los conjuntos de datos.

5. Resultados

Se presentan los resultados del experimento que se ejecutó en el segundo semestre de 2022. El promedio de la temperatura mínima fue de 19.03 °C y el promedio de la temperatura máxima fue de 35.39 °C. El promedio de la temperatura diurna y nocturna registrada durante el experimento fue de 24.43 °C, y se ajustó al intervalo adecuado para la etapa vegetativa, entre 18.3 °C y 32.2 °C (ver fig. 2), valores recomendados por Cherie (2010) y, Hochmuth and Hochmuth (2012), citados por Shamshiri, *et al.*, (2018). En los estándares ASABE (2015), citados por Shamshiri, *et al.*, (2018), se indica que valores de HR entre 60-90 % son apropiados para cultivos de tomate bajo invernadero. Por tanto, la HR durante el periodo de evaluación fue favorable con 82.94 % en promedio (ver fig. 2). Durante la etapa vegetativa se acumularon 398 GDD, y 778 GDD en total desde la siembra.

En promedio, cada día se acumularon 14.39 GDD. El promedio de la RFA durante el día fue de 22.313 W m^{-2} , durante al menos 8 h por día fue superior al punto de compensación (PC) para plantas de tomate (11.86 W m^{-2}) (Papadopoulos & Ormrod, 1988). Esta es una condición favorable para el metabolismo vegetal, ya que la radiación solar es el factor ambiental principal para la producción de materia seca y el rendimiento (Fischer & Orduz-Rodríguez, 2012). Por los motivos expuestos, las condiciones agroclimáticas del invernadero fueron favorables para el crecimiento de las plantas de tomate durante el periodo de evaluación.

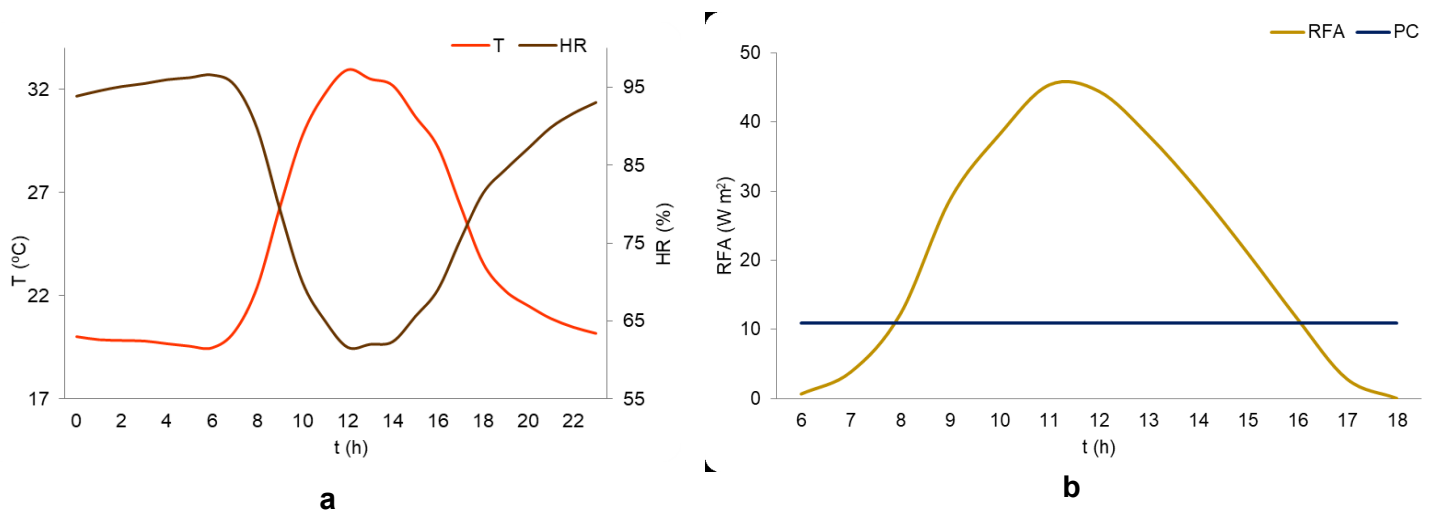


Figura 2. Condiciones agroclimáticas durante la etapa vegetativa. Comportamiento de la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) durante el día en la etapa vegetativa **(a)**. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) durante el día en la etapa vegetativa, y punto de compensación (PC) **(b)**.

5.1. Análisis longitudinal. Se relaciona el comportamiento de las variables evaluadas en los dos tratamientos a través del tiempo. Dado el tamaño muestral, en caso de repetir el experimento, los valores medios de cada variable fluctuarían entre el límite inferior y

superior con una confianza del 95 %. En todos los gráficos (figuras 3, 4 y 5), es notorio que las variables conservaron la misma tendencia a través del tiempo en los dos tratamientos. En todos los momentos de muestreo y para todas las variables de respuesta, la variabilidad fue baja porque los valores de desviación estándar relativa porcentual o coeficiente de variación (% DER) más elevados por tratamiento fueron menores que 30 %. El tratamiento magnético de las semillas generó un efecto directo sobre el área foliar, contenido de clorofila y altura de la planta, y no influyó el comportamiento de dichas variables en el tiempo. En contraste, el comportamiento del número de hojas y el diámetro del tallo durante el tiempo se relaciona con el tipo de tratamiento utilizado. El TM generó aumento en las magnitudes de todas las variables. A continuación, se describen las diferencias encontradas.

5.1.1. Área foliar. Se registró un incremento en el área foliar del 21 % para las plantas generadas de semillas con TM frente a T0 (ver fig. 3.a). Los resultados de las comparaciones por pares con la prueba de *Dunnet*, indicaron que el área foliar fue mayor en TM que en T0 de manera altísimamente significativa (valores $p < 0.001$) para todos los momentos de estudio (ver anexo 7). Por los motivos antes expuestos, la variabilidad fue baja, los valores del coeficiente de variación más elevados por tratamiento fueron 24.80 % y 18.64 % para TM y T0 respectivamente (ver anexo 6).

5.1.2. Altura de la planta. La altura de las plantas fue 9.1 % mayor en el TM que en el T0 y la diferencia fue altísimamente significativa (valores $p < 0.001$) (ver fig.3 b). Dicha diferencia estadística fue consistente durante todo el periodo de evaluación. La variabilidad de los datos fue baja y los valores de desviación estándar relativa porcentual (%DER) más elevados por tratamiento fueron 11.28 % y 11.40 % para el TM y el T0 respectivamente (ver anexos 8 y 9).

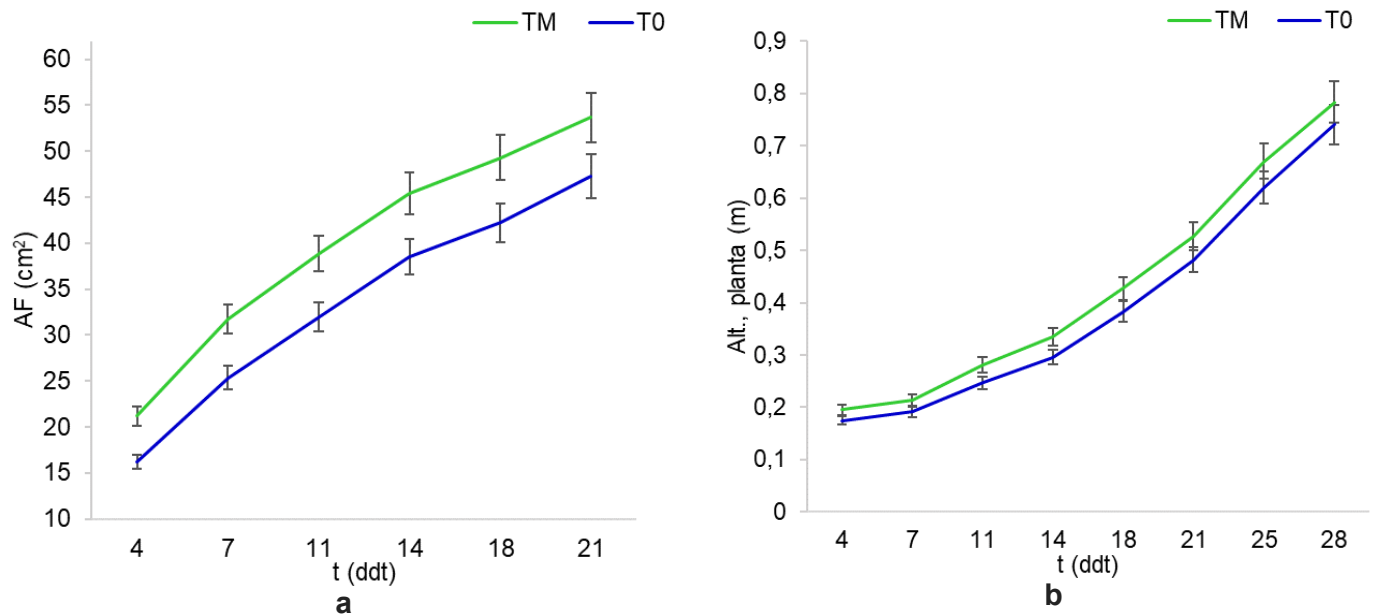


Figura 3. Comparación del área foliar(AF) **(a)**. Comparación de la altura de la planta (Alt. planta) **(b)** de los dos tratamientos (TM y T0) en función del tiempo (t) medido en días después del trasplante (ddt).

5.1.3. Diámetro del tallo. Hubo un incremento en el diámetro del tallo de las plantas del TM respecto al T0 (ver fig. 4 a). Entre los cuatro y los 14 ddt el diámetro en el TM fue 6.9 % mayor que en el T0, y hubo diferencias estadísticamente significativas. Entre los 18 y los 35 ddt no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, sin embargo, se mantuvo el aumento del TM frente al T0. Los valores % DER más elevados por tratamiento fueron 10.89 % y 11.79 % para TM y T0 (ver anexos 10 y 11).

5.1.4. Contenido de clorofilas. Se encontró que las plantas del TM presentaron mayor contenido de clorofilas (ver fig. 4b). La superioridad del contenido de clorofila de las plantas del TM se mantuvo entre los cuatro y los 32 ddt, y solo hubo diferencias estadísticamente significativas a los siete y 14 ddt. Hubo baja variabilidad entre los datos ya que los valores

% DER más elevados por tratamiento fueron 8.61 % y 9.15 %, para TM y T0 respectivamente (ver anexos 12 y 13).

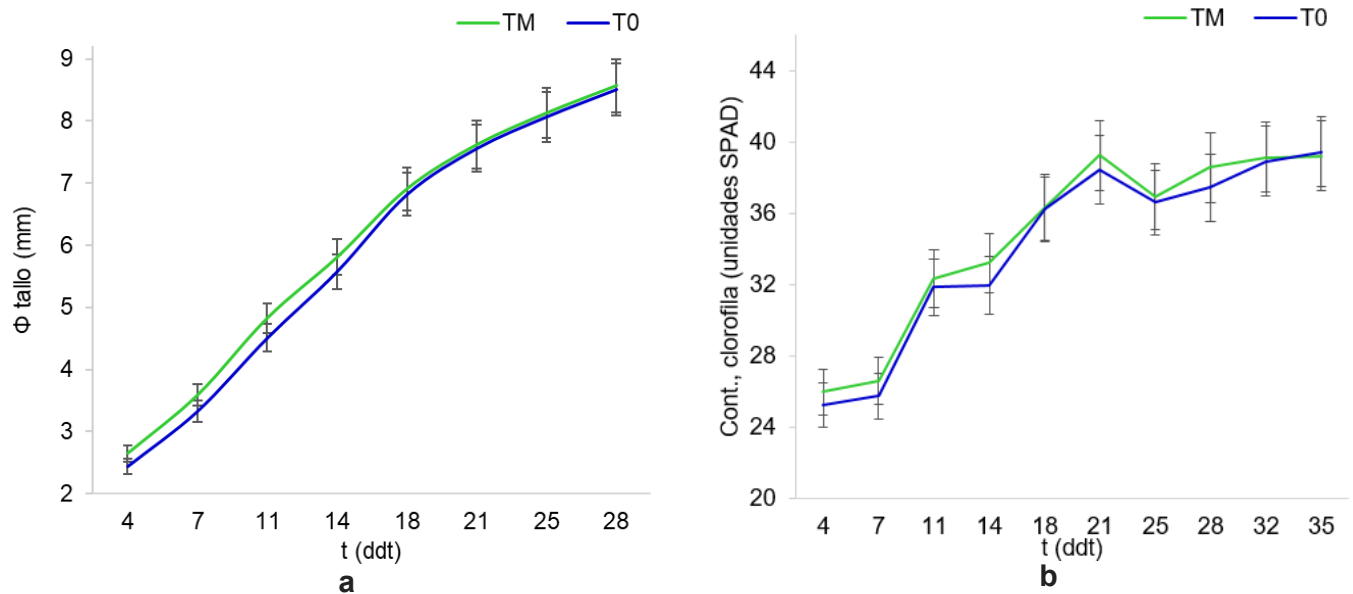


Figura 4. Comparación del diámetro del tallo (Φ tallo) **(a)**. Comparación del contenido de clorofilas (cont., clorofila) **(b)** de los dos tratamientos (TM y T0) en función del tiempo (t) medido en días después del trasplante (ddt).

5.1.5. Número de hojas. Se presentó mayor número de hojas en el tratamiento TM que en el T0 (ver fig. 5). Entre los cuatro y los 21 ddt, las plantas del TM formaron más hojas y hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los cuatro, siete, 14, y 21 ddt. A partir de los 24 ddt se iguala la formación de hojas en ambos tratamientos. La variabilidad de los datos fue baja porque los valores del coeficiente de variación más elevados por tratamiento fueron 11.78 % y 13.92 % para TM y T0 respectivamente (ver anexos 14 y 15).

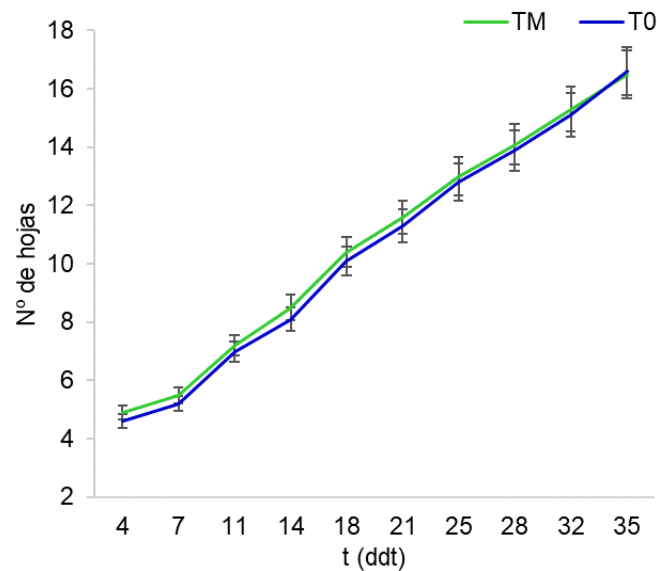


Figura 5. Comparación del número de hojas (Nº hojas) de los dos tratamientos (TM y T0) en función del tiempo (t) medido en días después del trasplante (ddt).

5.2. Estudio transeccional correlacional. Con estudio transeccional correlacional se explica la relación entre las variables. Dichas relaciones no se comprendieron adecuadamente a partir del análisis factorial porque los valores de KMO fueron inferiores a 0.5 en los dos momentos de evaluación, KMO = 0.4539 para el ddt 21, y KMO = 0.4813 para el ddt 35. Sin embargo, se determinaron las correlaciones de Pearson con 5 % de significancia.

El análisis de los datos tomados a los 21 ddt indicó que el área de la hoja guardó correlaciones significativas con todas las variables de estudio (ver tabla 1). Dicha correlación fue del 18.76 % con la altura, del 37.91 % con el diámetro fue y del 28.82 % con el contenido de clorofila. El área foliar presentó correlación inversa del 22.19 % con el número de hojas. La altura tuvo relación directa con el diámetro y el número de hojas, con

valores de 26.54 % y 53.68 %. El diámetro guardó 19.05 % de correlación directa con el contenido de clorofila, y del 22.73 % con el número de hojas.

Tabla 1. Matriz de correlaciones de Pearson para las variables a los 21 ddt. Valores en negrita indican correlaciones estadísticamente significativas.

Variablen	Área	Altura	Diámetro	Contenido de Clorofila	No. Hojas
Área	1	0.1876	0.3791	0.2881	-0.2219
Altura	0.1876	1	0.2654	0.0725	0.5368
Diámetro	0.3791	0.2654	1	0.1905	0.2273
Contenido de Clorofila	0.2881	0.0725	0.1905	1	-0.0451
No. Hojas	-0.2219	0.5368	0.2273	-0.0451	1

El análisis correlacional a los 35 ddt indicó que la altura solo presentó correlación directa con el número de hojas y fue del 28.45 %. El diámetro del tallo guardó correlación directa con el número de hojas en un 20.61 %. Las demás correlaciones expuestas en la matriz no fueron significativas.

Tabla 2. Matriz de correlaciones de Pearson para las variables naturales a los 35 ddt. Valores en negrita indican correlaciones estadísticamente significativas.

Variablen	Altura	Diámetro	Contenido de clorofila	No. Hojas
Altura	1	0.0484	0.0830	0.2845
Diámetro	0.0484	1	0.1362	0.2061
Contenido de clorofila	0.0830	0.1362	1	-0.0248
No. Hojas	0.2845	0.2061	-0.0248	1

6. Discusión

En el presente apartado se plantea el análisis de los resultados y la discusión. Para tal fin se parte de que las plantas generadas por TMS presentaron aumentos en las magnitudes de todas las variables evaluadas. Para explicar el efecto favorable del TMS, se acude al postulado de las variaciones en el contenido hormonal como factor desencadenante, ya que los eventos fisiológicos dependen de la interacción entre fitohormonas y de la sensibilidad de los tejidos (Azcón - Bieto & Talón, 2008). La relación entre las hormonas vegetales modula la diferenciación celular, y es un factor de que varía entre órganos y procesos de crecimiento.

Los resultados demostraron que el área foliar y la altura de las plantas de tomate fue mayor en el TM que en el T0 en todos los momentos de muestreo, y concuerda con los hallazgos de Kutby *et al.*, (2020), que encontraron incrementos en ambas variables de las plantas de tomate tras aplicar TMS con B de 150 mT. De manera homóloga a los resultados obtenidos en este trabajo, Vashisht *et al.*, (2021), observaron aumento en el número de hojas y el contenido de clorofilas en plantas de girasol de un mes, generadas por TMS con B de 200 mT durante 2 h. La combinación del aumento individual del área foliar y del número de hojas, resulta en mayor área foliar total. Sumado a lo anterior, el incremento en el contenido de clorofilas permite que las plantas obtenidas por TMS tengan tanto mayor superficie fotosintéticamente activa como mejor capacidad para ejecutar el proceso. De otro lado, las plantas sanas con follaje abundante soportan mejor el ataque de insectos plaga.

De manera similar a los resultados obtenidos en este trabajo, se reportaron incrementos en la altura de plantas de soya durante la etapa vegetativa, cuando las semillas fueron sometidas a campo magnético con B de 200 mT durante 1 h (Baghel *et al.*, 2016). También se demostraron aumentos en el diámetro del tallo en plantas de trigo generadas por TMS con B de 50 mT (Rathod & Anand, 2016). Tallos largos y con diámetro más amplio pueden soportar una estructura vegetal robusta, y poseen más tejidos conductores con la potencialidad de facilitar flujo de sustancias hasta los órganos con mayor demanda.

Los efectos favorables del TMS sobre el área foliar, la altura de la planta, el diámetro del tallo y el número de hojas se correlacionan entre sí y son consecuencia del aumento en la división y elongación celular. A su vez, la elongación celular en los tejidos se relaciona con la interacción entre las auxinas (AIA), las citoquininas (CK), y las giberelinas (AG) (Ross *et al.*, 2003; Seo *et al.*, 2006; Oh *et al.*, 2007 citados por Spaninks *et al.*, 2023). El aumento en el número de hojas inicia con la formación de primordios, que a su vez son precedidos por la acumulación localizada de auxinas en la zona periférica del meristemo (Azcón - Bieto & Talón, 2008). La formación de nuevas hojas a partir de los primordios requiere división celular en la zona costal del meristemo apical caulinar, que se promueve mediante vías de señalización sensibles a las fitohormonas AG y brasinoesteroides (BR) (Gallego-Bartolomé *et al.*, 2012). El aumento de la longitud del tallo que resultó del TMS, posiblemente ocurre por la acción promotora de AIA sobre la biosíntesis de AG (Ross *et al.*, 2001). La relación entre las hormonas es complementaria, porque se requiere AG para el transporte de AIA, y las CK estimulan la división celular en presencia de auxinas (Azcón - Bieto & Talón, 2008; Willige *et al.*, 2011).

Respecto al incremento que se identificó en el contenido de clorofilas, el TMS con B de 50 mT en cebada mejoró el mismo parámetro sin afectar significativamente los niveles de carotenoides (Ercan *et al.*, 2022). Las CK se relacionan con la formación de cloroplastos y la síntesis de pigmentos (Azcón - Bieto & Talón, 2008). Vashisth *et al.* (2021) plantearon que la mejora en el contenido de clorofilas podría deberse a las propiedades paramagnéticas de cloroplasto. Se han encontrado aumentos en el contenido de clorofilas en varias especies con independencia del tipo de metabolismo fotosintético que posea. Cambios positivos en el contenido de estos pigmentos se han cuantificado en plantas C3 como tomate (Rathod & Anand, 2016) y girasol (Vashisth *et al.*, 2021), y en plantas C4 como trigo (Hussain *et al.*, 2020), y maíz (Baghel *et al.*, 2019).

El aumento del contenido de clorofila es una respuesta bioquímica de adaptación al medio para aumentar la transformación de energía lumínica disponible, en energía química aprovechable por la planta. El contenido de clorofila se relaciona con la biosíntesis de carbohidratos y de biomasa. Kutby *et al.*, (2020), encontraron que el TMS con B de 150 mT aumentó la masa fresca y seca de las plantas de tomate, así como la tasa de floración y fructificación. Para el adecuado crecimiento vegetal, se requieren los elementos esenciales en formas asimilables por las plantas, y que las raíces tengan la estructura adecuada para explorar el medio. Dichas condiciones, se deducen como causas directas del efecto favorable del TMS sobre las variables evaluadas. De manera complementaria, Rathod & Anand (2016), identificaron que el TMS con B de 50 mT durante 2 h genera incrementos en el volumen y la longitud de la raíz de las plantas de trigo; y, Kutby *et al.*, (2020) reportaron el incremento de la masa fresca y seca de las raíces del tomate como efecto del TMS con B de 150 mT.

Las mediciones del contenido de clorofila son afectadas por factores intrínsecos y extrínsecos a la planta, por lo que resulta necesario ampliar los elementos de los que depende la cuantificación de la variable. De acuerdo con Schlemmer *et al.*, (2005), citados por Díaz (2014), se debe tener en cuenta la condición hídrica de la hoja, pues aunque la turgencia celular no afecta el contenido de clorofila, sí influye en la transmitancia de la energía en el infrarrojo (IR) cercano por la presencia de espacios aéreos intercelulares en el tejido foliar. Los medidores SPAD calculan un índice de clorofila (IC) basado en la reflectancia o absorbancia en longitudes de 650 y 940 nm (Pinkard *et al.*, 2006). Por tanto, los valores obtenidos por estos dispositivos dependen no sólo del contenido de clorofila sino también de otros aspectos de la óptica que pueden verse influenciados por factores ambientales y biológicos (Coste *et al.* 2010; Hunt y Daughtry, 2014). Se recomienda calibrar el dispositivo al comienzo de un experimento mediante la validación de datos con un método destructivo clásico, para determinar la ecuación ajustada al cultivar que se desea evaluar, para convertir la lectura del equipo en un valor de concentración de clorofila (Coste *et al.* 2010). Allen *et al.* (2012), indicaron que el contenido de clorofila, el área foliar y la absorción de la radiación, aumentan a medida en que la hoja se hace fotosintéticamente madura, así que es deseable realizar las mediciones durante estadios avanzados del desarrollo fenológico.

Es necesario realizar más estudios enfocados en los órganos aéreos, y específicamente en los meristemas, para cuantificar el efecto del campo magnético sobre las variaciones en el contenido de fitohormonas e identificar transportadores implicados en las variaciones morfológicas y bioquímicas deseables en plantas de *S. lycopersicum* L., durante todas las etapas fenológicas. Por último, y de acuerdo con lo expuesto por Abdel Latef *et al.*, (2020) al aplicar TMS con B de 1 T sobre lechuga, en el desarrollo de este trabajo no se detectaron malformaciones ni desórdenes fisiológicos causados por el TMS.

7. Conclusiones

La fenología de las plantas de *S. lycopersicum* L., durante la etapa vegetativa estuvo favorecida por el TMS, ya que bajo iguales condiciones ambientales la formación de nuevos órganos fue más rápida. Las plantas del TM emplearon menos tiempo térmico para la formación de tejidos en comparación con las plantas del T0.

El TMS tuvo un efecto beneficioso sobre la cinética del crecimiento vegetativo, ya que se aceleró la formación y la expansión de los tejidos aéreos, con la potencial implicación productiva de anticipar la cosecha y acortar la duración del ciclo. Es necesario evaluar el efecto del TMS sobre variables productivas relacionadas con el rendimiento y la calidad del fruto en condiciones agroclimáticas controladas para corroborar esta hipótesis.

El TMS favoreció la capacidad fotosintética de las plantas de tomate a través del aumento en el contenido de clorofilas. Es necesario realizar investigaciones complementarias para estudiar los cambios sobre el proceso fotosintético propiamente dicho y, comprender los mecanismos de acción sobre los que ejerce influencia el campo magnético.

8. Bibliografía

- Abdel Latef, A. A. H., Dawood, M. F., Hassanpour, H., Rezayian, M., & Younes, N. A. (2020). Impact of the static magnetic field on growth, pigments, osmolytes, nitric oxide, hydrogen sulfide, phenylalanine ammonia-lyase activity, antioxidant defense system, and yield in lettuce. *Biology*, 9(7), 172. <https://doi.org/10.3390/biology9070172>
- Agustrina, R., Nurcahyani, E., Pramono, E., Listiana, I., & Nastiti, E. (2016). The influence of magnetic field on the growth of tomato (*Lycopersicon esculentum*) infected with *Fusarium oxysporum*. *INSIST*, 1(1). <https://doi.org/10.23960/ins.v1i1.16>.
- Agustrina, R., Nurcahyani, E., Irawan, B., Pramono, E., Listiani, I., Nastiti, E., & Hadi, S. (2020). The resistance of tomato plants from seed treated with a magnetic field of 0.2 m T against *Fusarium sp.* *Ecology, Environment and Conservation Journal Papers*, 26(3), 1036-1042.
- Aladjadjian A. (2002). Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*.
- Aladjadjian, A. (2007). The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. *Journal of Central European Agriculture*, 8(3), 369-380. https://www.researchgate.net/publication/27203889_The_use_of_physical_methods_for_plant_growing_stimulation_in_Bulgaria
- Aladjadjian, A. (2010). Influence of stationary magnetic field on lentil seeds. *Int. Agrophys*, 24(3), 321-324.
- Aladjadjian, A. & Zahariev, A. (2002). Influence of stationary magnetic field on the absorption spectra of the photosynthetic apparatus of some ornamental perennial species. *Bulg. J. Phys*, 29(3-4), 179-183.
- Allen, F., T. Center y E. Mattison. 2012. In situ estimates of water hyacinth leaf tissue nitrogen using a SPAD502 chlorophyll meter. *Aquat. Bot.* 100, 72-75. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.03.005>
- Anand, A., Nagarajan, S., Verma, A. P. S., Joshi, D. K., Pathak, P. C., & Bhardwaj, J. (2012). Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.). <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/13593>
- Anand, A., Kumari, A., Thakur, M., & Koul, A. (2019). Hydrogen peroxide signaling integrates with phytohormones during the germination of magneto primed tomato seeds. *Scientific reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45102-5>
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Interamericana-McGraw-Hill, Madrid.
- Baghel, L., Kataria, S., & Guruprasad, K. N. (2016). Static magnetic field treatment of seeds improves carbon and nitrogen metabolism under salinity stress in soybean. *Bioelectromagnetics*, 37(7), 455-470. <https://doi.org/10.1002/bem.21988>
- Baghel, L., Kataria, S., & Guruprasad, K. N. (2018). Effect of static magnetic field pretreatment on growth, photosynthetic performance and yield of soybean under water stress. *Photosynthetica*, 56(2), 718-730. <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0722-3>

- Baghel, L., Kataria, S., & Jain, M. (2019). Mitigation of adverse effects of salt stress on germination, growth, photosynthetic efficiency and yield in maize (*Zea mays* L.) through magnetopriming. *Acta Agrobotanica*, 72(1). <https://doi.org/10.5586/aa.1757>
- Belyavskaya, N. A. (2004). Biological effects due to weak magnetic fields on plants. *Advances in space Research*, 34(7), 1566-1574.
- Castañeda, C. S., Almanza-Merchán, P. J., Pinzón, E. H., CELY-REYES, G. E., & SERRANO-CELY, P. A. (2018). Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling Becker. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 329-337. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2929>
- Coste, S., Baraloto, C., Leroy, C., Marcon, É., Renaud, A., Richardson, A. D., ... & Hérault, B. (2010). Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Annals of Forest Science*, 67, 607-607. <https://doi.org/10.1051/forest/2010020>
- Dhawi, F. (2014). Why magnetic fields are used to enhance a plant's growth and productivity? *Annual Research & Review in Biology*, 886-896. https://www.researchgate.net/profile/Faten-Dhawi/publication/305933673_Why_Magnetic_Fields_are_Used_to_Enhance_a_Plant's_Growth_and_Productivity/links/5805893008ae98cb6f2a78b0/Why-Magnetic-Fields-are-Used-to-Enhance-a-Plants-Growth-and-Productivity.pdf
- De Souza, A., Garcí, D., Sueiro, L., Gilart, F., Porrás, E., & Licea, L. (2006). Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*, 27(4), 247-257. <https://doi.org/10.1002/bem.20206>
- De Souza-Torres, A., Sueiro-Pelegrín, L., Zambrano-Reyes, M., Macías-Socarras, I., González-Posada, M., & García-Fernández, D. (2020). Extremely low frequency non-uniform magnetic fields induce changes in water relations, photosynthesis and tomato plant growth. *International Journal of Radiation Biology*, 96(7), 951-957. <https://doi.org/10.1080/09553002.2020.1748912>
- Díaz Marín, C. (2014). Evaluación del dispositivo portátil SPAD-502 como indicador de la concentración de nitrógeno en plantas de café "*Coffea arabica*".
- Dziwulska-Hunek, A., Kornarzyńska-Gregorowicz, A., Niemczynowicz, A., & Matwijczuk, A. (2020). Influence of electromagnetic stimulation of seeds on the photosynthetic indicators in *Medicago sativa* L. leaves at various stages of development. *Agronomy*, 10(4), 594. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040594>
- Easlon, H. M., & Bloom, A. J. (2014). Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in plant sciences*, 2(7), 1400033.
- Ercan, I., Tombuloglu, H., Alqahtani, N., Alotaibi, B., Bamhrez, M., Alshamrani, R., ... Kayed, T. S. (2022). Magnetic field effects on the magnetic properties, germination, chlorophyll fluorescence, and nutrient content of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 170, 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.033>
- Fatima, A., Kataria, S., Prajapati, R., Jain, M., Agrawal, A. K., Singh, B., ... & Gadre, R. (2021). Magnetopriming effects on arsenic stress-induced morphological and physiological

- variations in soybean involving synchrotron imaging. *Physiologia Plantarum*, 173(1), 88-99.
- FAOSTAT. (2023). Food and Agricultural Organization of the United Nations. Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>. Con acceso el 07/07/2023.
- Fischer, G., & Orduz-Rodríguez, J. O. (2012). *Ecofisiología en frutales* (No. Doc. 26022) CO-BAC, Bogotá).
- Gallego-Bartolomé, J., Minguet, E. G., Grau-Enguix, F., Abbas, M., Locascio, A., Thomas, S. G., ... & Blázquez, M. A. (2012). Molecular mechanism for the interaction between gibberellin and brassinosteroid signaling pathways in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(33), 13446-13451. <https://doi.org/10.1073/pnas.1119992109>
- Golbaz, G., & Kaviani, B. (2019). Effect of Magnetic Field on Growth and Development Parameters of Rudbeckia hirta L. Seed in Dry and Humid Conditions. *Journal of Ornamental Plants*. http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_667497_2a6c219af03a733c1af09bf6fff9b2e0.pdf
- Google Earth. (2023). https://earth.google.com/web/search/FINCA+MARTINICA,+Risaralda,+Caldas,+Rep%20c3%bablica+de+Colombia/@5.14182399,-75.74234232,1127.42883701a,559.03947823d,35y,-38.16107179h,44.99686749t,0r/data=CqQBGnoSdAokMHg4ZTQ3OWQxMWU4ZTg1MDRmOjB4YjA2YjQ3ODdhYWwNDNmGbgSy3c6kRRAIfMaYluC71LAKjpGSU5DQSBNQVJUSU5JQ0EsIFJpc2FyYWxkYSwgQ2FsZGFzLCBSZXDDumJsaWNhIGRIENvbG9tYmlhGAlGASImCiQJEceDI5goFEAR_uDjJDQUFEAZEei8CsHaUsAhyNYzJdzcUsA
- Hunt, E., & Daughtry, C. S. (2014). Chlorophyll meter calibrations for chlorophyll content using measured and simulated leaf transmittances. *Agronomy Journal*, 106(3), 931-939.
- Hussain, M. S., Dastgeer, G., Afzal, A. M., Hussain, S., & Kanwar, R. R. (2020). Eco-friendly magnetic field treatment to enhance wheat yield and seed germination growth. *Environmental nanotechnology, monitoring & management*, 14, 100299. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100299>
- International Seed Testing Association. (1985). International rules for seed testing. Rules 1985. *Seed science and technology*, 13(2), 299-513.
- Kataria, S., Baghel, L., & Guruprasad, K. N. (2017). Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 10, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.02.010>
- Kataria, S., Rastogi, A., Bele, A., & Jain, M. (2020). Role of nitric oxide and reactive oxygen species in static magnetic field pre-treatment induced tolerance to ambient UV-B stress in soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 26(5), 931-945. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00802-5>
- Kutby, A. M., Al-Zahrani, H. S., & Hakeem, K. R. (2020). Role of magnetic field and brassinosteroids in mitigating salinity stress in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Int. J. Eng. Res. Technol*, 9, 306-319. <https://www.academia.edu/download/63676670/role->

[of-magnetic-field-and-brassinosteroids-in-IJERTV9IS06018820200619-130446-18yei6p.pdf](#)

- Laksmiari, K. (2021). Analysis Of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field Exposure Impact On The Mass Of Great Red Chili Plant (*Capsicum annum* L). *JURNAL PEMBELAJARAN FISIKA*, 10(1), 15-21. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JPF/article/download/22372/9675>
- McMaster, G. S., & Wilhelm, W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and forest meteorology*, 87(4), 291-300.
- Nobel, P. S. (1999). *Physicochemical & environmental plant physiology*. Academic press.
- Nyakane, N. E., Markus, E. D., & Sedibe, M. M. (2019). The effects of magnetic fields on plants growth: a comprehensive review. *Int J Food Eng*, 5, 79-87. <http://www.ijfe.org/uploadfile/2019/0322/20190322032557876.pdf>
- Papadopoulos, A. P., & Ormrod, D. P. (1988). Plant spacing effects on photosynthesis and transpiration of the greenhouse tomato. *Canadian Journal of Plant Science*, 68(4), 1209-1218.
- Pinkard, EA, V. Patel y C. Mohammed. 2006. Determinación de clorofila y nitrógeno para *Eucalyptus nitens* y *E. globulus* cultivados en plantaciones utilizando un medidor no destructivo. *Gestión de la ecología forestal* 223: 211 – 217.
- Podleśny, J., Podleśna, A., Gładyszewska, B., & Bojarszczuk, J. (2021). Effect of pre-sowing magnetic field treatment on enzymes and phytohormones in pea (*Pisum sativum* L.) seeds and seedlings. *Agronomy*, 11(3), 494. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030494>
- Răcuciu, M. (2020). Development of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under the action of extremely low frequency magnetic field in a controlled environment conditions. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2206, No. 1, p. 030003). AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0000268>
- Radhakrishnan, R. (2019). Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(5), 1107-1119. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>
- Rathod, G. R., & Anand, A. (2016). Effect of seed magneto-priming on growth, yield and Na/K ratio in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21, 15-22. <https://doi.org/10.1007/s40502-015-0189-9>
- Rochalska, M. (2005). Influence of frequent magnetic field on chlorophyll content in leaves of sugar beet plants. *Nukleonika*, 50, 25-28. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BUJ6-0005-0019/c/Influence_of_frequent_magnetic_field_on_chlorophyll.pdf
- Ross, J. J., O'Neill, D. P., Wolbang, C. M., Symons, G. M., & Reid, J. B. (2001). Auxin-gibberellin interactions and their role in plant growth. *Journal of plant growth regulation*, 20(4), 336-353. https://www.researchgate.net/profile/John-Ross-21/publication/11382927_Auxin-Gibberellin_Interactions_and_Their_Role_in_Plant_Growth/links/59ee683c4585154350e8101e/Auxin-Gibberellin-Interactions-and-Their-Role-in-Plant-Growth.pdf
- Sarraf, M., Kataria, S., Taimourya, H., Santos, L. O., Menegatti, R. D., Jain, M., ... & Liu, S. (2020). Magnetic field (MF) applications in plants: An overview. *Plants*, 9(9), 1139. <https://doi.org/10.3390/plants9091139>

- Schlemmer, MR, Francis, DD, Shanahan, JF y Schepers, JS (2005). Medición remota del contenido de clorofila en hojas de maíz con diferentes niveles de nitrógeno y contenido relativo de agua. *Revista de agronomía*, 97 (1), 106-112. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0106>
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International agrophysics*, 32(2), 287-302. <http://archive.sciendo.com/INTAG/intag.2018.32.issue-2/intag-2017-0005/intag-2017-0005.pdf>
- Shine, M. B., Guruprasad, K. N., & Anand, A. (2011). Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. *Bioelectromagnetics*, 32(6), 474-484. <https://doi.org/10.1002/bem.20656>
- Small, D. P., Hüner, N. P., & Wan, W. (2012). Effect of static magnetic fields on the growth, photosynthesis and ultrastructure of *Chlorella kessleri* microalgae. *Bioelectromagnetics*, 33(4), 298-308.
- Spaninks, K., Lamers, G., van Lieshout, J., & Offringa, R. (2023). Light quality regulates apical and primary radial growth of *Arabidopsis thaliana* and *Solanum lycopersicum*. *Scientia Horticulturae*, 317, 112082. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112082>
- Taia, W. K., Al-Zahrani, H., & Kotbi, A. (2007). The effect of static magnetic forces on water contents and photosynthetic pigments in sweet basil *Ocimum basilicum* L.(Lamiaceae). *Saudi J. Biol. Sci*, 14, 103-107. https://www.researchgate.net/profile/Wafaa-Taia/publication/237434805_The_Effect_of_Static_Magnetic_Forces_on_Water_Contents_and_Photosynthetic_Pigments_in_Sweet_Basil_Ocimum_basilicum_L_Lamiaceae/links/5ff89e0045851553a02e6989/The-Effect-of-Static-Magnetic-Forces-on-Water-Contents-and-Photosynthetic-Pigments-in-Sweet-Basil-Ocimum-basilicum-L-Lamiaceae
- Torres, J., Hincapie, E., & Gilart, F. (2018). Characterization of magnetic flux density in passive sources used in magnetic stimulation. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 449, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.10.037>.
- Vashisth, A., Meena, N., & Krishnan, P. (2021). Magnetic field affects growth and yield of sunflower under different moisture stress conditions. *Bioelectromagnetics*, 42(6), 473-483. <https://doi.org/10.1002/bem.22354>
- Vasilevski, G. (2003). Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 29(3), 179-186. https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a2127d890812cdea_d37291ba99f326c15c920ff0
- Willige, B. C., Isono, E., Richter, R., Zourelidou, M., & Schwechheimer, C. (2011). Gibberellin regulates PIN-FORMED abundance and is required for auxin transport-dependent growth and development in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Cell*, 23(6), 2184-2195. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.086355>

9. Anexos

Anexo 1. Unidades experimentales (u.e.) extraídas para normalizar los tratamientos estadísticos.

Variable	Libro de cálculo	Tratamiento	Z-score	u.e. Depurada	N° u.e. depuradas
Clorofila	1. Clorofila-depuración	TM	3.87	34	4
			5.27	6	
			-1.97	7	
			3.57	59	
		T0	2.96	80	5
			-2.57	140	
			2.51	123	
			2.09	113	
Diámetro	2_Diámetro-depuración	TM	-2.50	114	4
			-2.19	22	
			-2.15	58	
			-2.58	42	
		T0	-2.17	67	4
			2.48	87	
			-4.01	78	
			-2.01	92	
Altura	3_BD Altura-depuración	TM	-2.62	102	5
			-3.93	75	
			-2.07	72	
			2.26	32	
		T0	-2.12	25	2
			-2.24	45	
			1.99	93	
			-2.08	109	
Área	4_BD Área depuración	T0	-2.07	104	11
			2.22	130	
			2.72	88	
			-2.01	147	
			2.09	133	
			2.07	136	
			2.20	103	
			2.24	84	
			2.08	112	
			2.20	106	
			1.96	125	

Anexo 2. Valores p para la prueba de normalidad de *Kolmogorov-Smirnov* con corrección de *Lilliefors*, para los tratamientos en los diferentes días.

Variable	ddt	Tratamiento	
		TM	T0
Clorofila	4	0.765 4	0.758 5
	7	0.446 5	0.182
	11	0.561 2	0.183 1
	14	0.171 3	0.090 4
	18	0.812 0	0.1976
	21	0.867 5	0.614 9
	25	0.293 8	0.170 9
	28	0.308 7	0.268 3
	32	0.787 9	0.947 5
	35	0.800 8	0.866 4
Diámetro	4	0.0641	0.156 3
	7	0.8991	0.357 1
	11	0.144	0.98 7
	14	0.8159	0.902 3
	18	0.3146	0.653 7
	21	0.9508	0.934 7
	25	0.8154	0.202 3
	28	0.114	0.213 6
	32	0.6745	0.687 6
	35	0.4704	0.630 3
Altura	4	0.3534	0.004 6
	7	0.852 2	0.225 7
	11	0.691 4	0.600 5
	14	0.082	0.109 2
	18	0.894	0.872 5
	21	0.673 9	0.351 6
	25	0.682 8	0.471 6
	28	0.494 9	0.67 1
	32	0.727 2	0.494
	35	0.540 8	0.750 8
39	0.5267	0.3302	
Área foliar	4	0.7762	0.1262
	7	0.393	0.8388
	11	0.5574	0.2059
	14	0.5577	0.2917
	18	0.3668	0.5096
	21	0.5025	0.1785

Anexo 3. Resultados de la comprobación de la condición de *Mauchly* para medidas repetidas y valores ϵ para corrección de grados de libertad en caso de no esfericidad.

Variable	Grados de libertad	Estadísticos			Valores de ϵ	
		Mauchly	Chi-cuadrado	Pr > Chi ²	Greenhouse - Geisser	Huynt - Feldt
Área foliar	14	0.00079255	800.42	0.0000	0.3434	0.3513
No. Hojas	44	0.00173038	704.60	0.0000	0.6761	0.7251
Clorofila	44	0.00039456	868.39	0.0000	0.7427	0.8013
Altura	54	0.00000001	2078.86	0.0000	0.2374	0.2450
Diámetro	44	0.00049819	842.55	0.0000	0.6048	0.6446

Anexo 4. Fragmentos del ANDEVA de medidas de repetidas para cada variable de estudio frente a los efectos debidos a los diferentes tipos de semillas.

Variable	Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Área foliar	Grupo de semillas	1	7058.67	7058.67	21.35	< 0.0001
	Error (1)	113	37367.96	330.69		
No. hojas	Grupo de semillas	1	14.96	14.96	3.02	0.0849
	Error (1)	113	559.53	4.95		
Clorofila	Grupo de semillas	1	92.63	92.63	5.91	0.0167
	Error (1)	113	1772.31	15.68		
Altura	Grupo de semillas	1	0.52	0.52	31.56	< 0.0001
	Error (1)	113	1.87	0.02		
Diámetro	Grupo de semillas	1	3.95	3.95	3.02	0.0851
	Error (1)	113	148.00	1.31		

Anexo 5. Fragmentos del ANOVA de medidas de repetidas para cada variable de estudio frente a los efectos debidos al tiempo y su relación con el tipo de semilla.

Variable	Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Asunción de esfericidad		Valores ajustados con epsilon	
					F	Pr > F	Pr>F G-G	Pr>F H-F
Área foliar	Repetición	5	79003.77	15800.75	1289.35	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	Interacción	5	78.57	15.71	1.28	0.2696	0.2767	0.2771
	Error (2)	565	6924.00	12.25				
No. De hojas	Repetición	9	17620.94	1957.88	8687.21	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	Interacción	9	4.51	0.50	2.22	0.0186	0.0383	0.0342
	Error (2)	1017	229.21	0.23				
Clorofila	Repetición	9	27553.37	3061.49	567.33	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	Interacción	9	57.56	6.40	1.19	0.3006	0.3097	0.3077
	Error (2)	1017	5488.04	5.40				
Altura	Repetición	10	136.71	13.67	9300.34	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	Interacción	10	0.03	0.00	2.34	0.0097	0.0877	0.0857
	Error (2)	1130	1.66	0.00				
Diámetro	Repetición	9	6626.31	736.26	5164.77	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	Interacción	9	4.48	0.50	3.50	0.0003	0.0030	0.0023
	Error (2)	1017	144.98	0.14				

Anexo 6. Estadísticos descriptivos para el área foliar (cm²)

Interacción	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desvest	%DER	Intervalo de confianza para la media (95 %)	
							Límite inferior	Límite superior
TM - ddt04	11.10	32.14	20.84	21.22	4.93	23.23	19.97	22.47
TM - ddt07	15.33	55.96	31.18	31.72	7.87	24.8	29.72	33.72
TM - ddTM1	19.25	70.36	38.51	38.85	9.29	23.9	36.49	41.2
TM - ddTM4	25.20	80.79	45.24	45.39	10.58	23.31	42.71	48.08
TM - ddTM8	29.29	86.72	49.27	49.3	11.03	22.37	46.5	52.10
TM - ddT01	29.96	88.86	54.45	53.68	11.73	21.85	50.7	56.65
Estadísticos generales TM*	11.10	88.86	39.87	40.03	14.51	36.25	38.55	41.51
T0 - ddt04	11.08	22.21	15.75	16.21	2.8	17.25	15.44	16.98
T0 - ddt07	14.02	35.18	25.1	25.38	4.73	18.64	24.08	26.68
T0 - ddTM1	16.52	46.13	30.91	32.01	5.84	18.26	30.4	33.62
T0 - ddTM4	19.1	54.94	38.53	38.57	6.52	16.91	36.77	40.36
T0 - ddTM8	21	58.47	43.39	42.23	7.1	16.82	40.27	44.19
T0 - ddT01	24.25	61.33	47.96	47.27	7.54	15.96	45.19	49.35
Estadísticos generales para T0*	11.08	61.33	34.27	33.61	12.05	35.86	32.28	34.94

Anexo 7. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el área foliar (cm²).

Tiempo (ddt)	Comparaciones múltiples de Dunnet		
	Contraste:	T0 vs TM	Conclusión respecto a las medias
4	Diferencia	-5.0151	TM> T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
7	Diferencia	-6.3384	TM> T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
11	Diferencia	-6.8387	TM> T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
14	Diferencia	-6.8279	TM> T0
	Pr > Dif	0.0001	
	Diferencia significativa	SI	
18	Diferencia	-7.0737	TM> T0
	Pr > Dif	0.0001	
	Diferencia significativa	SI	
21	Diferencia	-6.4055	TM> T0
	Pr > Dif	0.0009	
	Diferencia significativa	SI	

Anexo 8. Estadísticos descriptivos de la altura de la planta (m).

Interacción	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desvest	%DER	Intervalo de confianza para la media (95%)	
							Límite inferior	Límite superior
TM - ddt04	0.134	0.242	0.197	0.195	0.022	11.280	0.189	0.201
TM - ddt07	0.162	0.255	0.216	0.214	0.022	10.090	0.209	0.220
TM - ddTM1	0.230	0.325	0.283	0.281	0.023	8.120	0.275	0.287
TM - ddTM4	0.274	0.383	0.338	0.335	0.026	7.760	0.328	0.341
TM - ddTM8	0.352	0.508	0.425	0.427	0.034	8.020	0.419	0.436
TM - ddT01	0.374	0.619	0.529	0.527	0.045	8.470	0.515	0.538
TM - ddT05	0.562	0.791	0.674	0.670	0.047	7.000	0.658	0.682
TM - ddT08	0.642	0.896	0.785	0.783	0.058	7.360	0.768	0.797
TM - ddt32	0.734	1.117	0.918	0.922	0.073	7.900	0.904	0.941
TM - ddt35	0.846	1.195	1.054	1.050	0.069	6.610	1.033	1.068
TM - ddt39	0.976	1.360	1.211	1.202	0.082	6.820	1.181	1.223
Estadísticos generales para TM*	0.134	1.360	0.529	0.601	0.338	56.282	0.575	0.626
T0 - ddt04	0.139	0.211	0.177	0.175	0.020	11.400	0.169	0.180
T0 - ddt07	0.155	0.256	0.193	0.191	0.021	10.870	0.186	0.197
T0 - ddTM1	0.193	0.286	0.247	0.247	0.023	9.480	0.241	0.254
T0 - ddTM4	0.245	0.372	0.293	0.296	0.028	9.580	0.288	0.303
T0 - ddTM8	0.301	0.470	0.383	0.383	0.036	9.320	0.373	0.393
T0 - ddT01	0.380	0.617	0.475	0.482	0.049	10.220	0.468	0.495
T0 - ddT05	0.514	0.750	0.610	0.620	0.056	9.070	0.605	0.636
T0 - ddT08	0.601	0.875	0.738	0.740	0.067	9.020	0.722	0.759
T0 - ddt32	0.731	1.150	0.860	0.873	0.082	9.420	0.850	0.896
T0 - ddt35	0.814	1.165	1.000	1.003	0.083	8.260	0.980	1.026
T0 - ddt39	0.954	1.358	1.150	1.148	0.091	7.960	1.122	1.173
Estadísticos generales para T0*	0.139	1.358	0.475	0.560	0.331	59.054	0.533	0.587

Anexo 9. Resultados de las comparaciones múltiples de Dunnet en los diferentes momentos de muestreo para la altura (m).

Tiempo (ddt)	Comparaciones múltiples de Dunnet		
	Contraste:	T0 vs TM	Conclusión respecto a las medias
4	Diferencia	-0.0203	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
7	Diferencia	-0.0229	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
11	Diferencia	-0.0337	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
14	Diferencia	-0.0391	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
18	Diferencia	-0.0446	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
21	Diferencia	-0.0447	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
25	Diferencia	-0.0495	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
28	Diferencia	-0.0425	TM > T0
	Pr > Dif	0.0004	
	Diferencia significativa	SI	
32	Diferencia	-0.0493	TM > T0
	Pr > Dif	0.0009	
	Diferencia significativa	SI	
35	Diferencia	-0.0472	TM > T0
	Pr > Dif	0.0012	
	Diferencia significativa	SI	
39	Diferencia	-0.0547	TM > T0

Anexo 10. Estadísticos descriptivos del diámetro (mm).

Interacción	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desvest	%DER	Intervalo de confianza para la media (95%)	
							Límite inferior	Límite superior
TM - ddt04	2.05	3.73	2.61	2.65	0.29	10.89	2.58	2.72
TM - ddt07	2.99	4.10	3.62	3.59	0.30	8.30	3.52	3.67
TM - ddTM1	3.81	5.55	4.87	4.83	0.37	7.72	4.73	4.92
TM - ddTM4	4.47	6.80	5.85	5.81	0.47	8.12	5.69	5.93
TM - ddTM8	5.47	8.04	6.93	6.91	0.54	7.82	6.77	7.04
TM - ddT01	6.43	8.94	7.59	7.62	0.52	6.80	7.49	7.75
TM - ddT05	7.12	9.45	8.15	8.13	0.53	6.51	8.00	8.26
TM - ddT08	7.33	9.87	8.50	8.57	0.54	6.28	8.43	8.70
TM - ddt32	8.10	11.51	9.45	9.44	0.66	6.96	9.27	9.60
TM - ddt35	8.60	12.11	10.02	10.03	0.72	7.14	9.85	10.21
T0 - ddt04	1.87	3.36	2.41	2.44	0.29	11.79	2.36	2.52
T0 - ddt07	2.60	3.97	3.27	3.33	0.29	8.75	3.25	3.41
T0 - ddTM1	3.71	5.28	4.51	4.51	0.40	8.95	4.40	4.62
T0 - ddTM4	4.33	6.49	5.57	5.58	0.51	9.15	5.44	5.72
T0 - ddTM8	5.67	7.74	6.86	6.82	0.47	6.86	6.69	6.95
T0 - ddT01	6.30	9.03	7.57	7.56	0.62	8.22	7.39	7.73
T0 - ddT05	7.03	9.42	8.07	8.07	0.54	6.64	7.93	8.22
T0 - ddT08	7.45	9.59	8.53	8.51	0.56	6.54	8.35	8.66
T0 - ddt32	8.01	10.91	9.42	9.44	0.58	6.14	9.28	9.60
T0 - ddt35	8.91	12.02	10.04	10.13	0.67	6.59	9.95	10.32

Anexo 11. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el diámetro (mm).

Tiempo (ddt)	Comparaciones múltiples de Dunnet		
	Contraste:	T0 vs TM	Conclusión respecto a las medias
4	Diferencia	-0.2097	TM > T0
	Pr > Dif	0.0002	
	Diferencia significativa	SI	
7	Diferencia	-0.2611	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
11	Diferencia	-0.3149	TM > T0
	Pr > Dif	0.0000	
	Diferencia significativa	SI	
14	Diferencia	-0.2349	TM > T0
	Pr > Dif	0.0117	
	Diferencia significativa	SI	
18	Diferencia	-0.0870	TM = T0
	Pr > Dif	0.3619	
	Diferencia significativa	NO	
21	Diferencia	-0.0624	TM = T0
	Pr > Dif	0.5580	
	Diferencia significativa	NO	
25	Diferencia	-0.0561	TM = T0
	Pr > Dif	0.5740	
	Diferencia significativa	NO	
28	Diferencia	-0.0589	TM = T0
	Pr > Dif	0.5656	
	Diferencia significativa	NO	
32	Diferencia	0.0056	TM = T0
	Pr > Dif	0.9619	
	Diferencia significativa	NO	
35	Diferencia	0.1034	TM = T0
	Pr > Dif	0.4276	
	Diferencia significativa	NO	

Anexo 12. Estadísticos descriptivos del contenido de clorofila (unidades SPAD).

Interacción	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desvest	%DER	Intervalo de confianza para la media (95%)	
							Límite inferior	Límite superior
TM - ddt04	21.10	31.50	26.25	25.98	2.24	8.61	25.42	26.55
TM - ddt07	21.55	30.50	26.53	26.64	1.77	6.66	26.19	27.09
TM - ddTM1	28.90	37.50	32.35	32.33	1.89	5.85	31.85	32.81
TM - ddTM4	27.50	39.00	33.13	33.22	2.02	6.08	32.71	33.74
TM - ddTM8	32.05	41.80	36.35	36.34	2.05	5.65	35.82	36.87
TM - ddT01	33.65	45.10	39.30	39.25	2.47	6.28	38.62	39.87
TM - ddT05	30.55	40.75	37.15	36.93	2.48	6.73	36.30	37.56
TM - ddT08	31.90	44.55	38.85	38.56	3.18	8.25	37.75	39.37
TM - ddt32	32.45	44.60	39.20	39.16	3.03	7.75	38.38	39.93
TM - ddt35	32.05	46.50	39.60	39.23	3.07	7.83	38.45	40.01
Estadísticos generales para TM*	21.10	46.50	35.65	34.76	5.41	15.57	34.34	35.19
T0 - ddt04	21.05	29.40	25.15	25.24	1.89	7.48	24.72	25.76
T0 - ddt07	19.60	32.70	25.80	25.75	2.24	8.68	25.13	26.37
T0 - ddTM1	26.35	40.35	31.45	31.85	2.56	8.04	31.14	32.55
T0 - ddTM4	27.75	36.05	32.05	31.96	1.99	6.22	31.41	32.51
T0 - ddTM8	32.30	40.55	36.35	36.25	1.96	5.41	35.71	36.79
T0 - ddT01	33.15	46.80	38.35	38.45	2.57	6.68	37.74	39.16
T0 - ddT05	32.95	40.55	36.25	36.61	1.66	4.52	36.16	37.07
T0 - ddT08	28.70	46.15	37.90	37.44	3.43	9.15	36.49	38.38
T0 - ddt32	32.50	49.40	38.90	38.93	3.47	8.90	37.97	39.88
T0 - ddt35	30.80	45.55	39.25	39.46	3.46	8.78	38.51	40.42
Estadísticos generales para T0*	19.60	49.40	35.18	34.19	5.64	16.49	33.71	34.68

Anexo 13. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el contenido de clorofila (unidades SPAD).

Tiempo (ddt)	Comparaciones múltiples de Dunnet		
	Contraste:	T0 vs TM	Conclusión respecto a las medias
4	Diferencia	-0.7432	TM = T0
	Pr > Dif	0.0592	
	Diferencia significativa	NO	
7	Diferencia	-0.8862	TM > T0
	Pr > Dif	0.0195	
	Diferencia significativa	SI	
11	Diferencia	-0.4801	TM = T0
	Pr > Dif	0.2511	
	Diferencia significativa	NO	
14	Diferencia	-1.2597	TM > T0
	Pr > Dif	0.0011	
	Diferencia significativa	SI	
18	Diferencia	-0.0950	TM = T0
	Pr > Dif	0.8010	
	Diferencia significativa	NO	
21	Diferencia	-0.7965	TM = T0
	Pr > Dif	0.0931	
	Diferencia significativa	NO	
25	Diferencia	-0.3134	TM = T0
	Pr > Dif	0.4361	
	Diferencia significativa	NO	
28	Diferencia	-1.1202	TM = T0
	Pr > Dif	0.0719	
	Diferencia significativa	NO	
32	Diferencia	-0.2283	TM = T0
	Pr > Dif	0.7072	
	Diferencia significativa	NO	
35	Diferencia	0.2290	TM = T0
	Pr > Dif	0.7079	
	Diferencia significativa	NO	

Anexo 14. Estadísticos descriptivos del número de hojas (unidades de conteo).

Interacción	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Desvest	%DER	Intervalo de confianza para la media (95%)	
							Límite inferior	Límite superior
TM - ddt04	4.0	6.0	5.0	4.9	0.6	11.8	4.7	5.0
TM - ddt07	5.0	7.0	5.0	5.5	0.5	9.7	5.4	5.6
TM - ddTM1	6.0	10.0	7.0	7.2	0.7	9.6	7.1	7.4
TM - ddTM4	7.0	10.0	8.5	8.5	0.7	7.9	8.3	8.7
TM - ddTM8	9.0	12.0	10.0	10.4	0.7	6.8	10.2	10.6
TM - ddT01	10.0	13.0	12.0	11.6	0.8	6.6	11.4	11.8
TM - ddT05	11.0	15.0	13.0	13.0	1.0	7.5	12.8	13.2
TM - ddT08	12.0	16.0	14.0	14.1	0.8	6.0	13.8	14.3
TM - ddt32	14.0	18.0	15.0	15.3	0.8	5.5	15.1	15.5
TM - ddt35	14.0	19.0	17.0	16.5	1.0	6.3	16.3	16.8
T0 - ddt04	4.0	6.0	4.0	4.6	0.6	13.9	4.4	4.7
T0 - ddt07	4.0	7.0	5.0	5.2	0.6	12.0	5.0	5.4
T0 - ddTM1	5.0	9.0	7.0	7.0	0.7	10.5	6.8	7.2
T0 - ddTM4	6.0	10.0	8.0	8.1	0.8	10.0	7.9	8.4
T0 - ddTM8	8.0	12.0	10.0	10.1	0.8	8.2	9.9	10.4
T0 - ddT01	9.0	13.0	11.0	11.3	0.9	8.2	11.0	11.5
T0 - ddT05	11.0	15.0	13.0	12.8	1.1	8.3	12.6	13.1
T0 - ddT08	11.0	16.0	14.0	13.9	1.0	7.2	13.6	14.2
T0 - ddt32	13.0	19.0	15.0	15.1	1.0	6.4	14.8	15.4
T0 - ddt35	15.0	19.0	17.0	16.6	1.2	7.1	16.3	16.9

Anexo 15. Resultados de las comparaciones múltiples de *Dunnet* en los diferentes momentos de muestreo para el número de hojas (conteo).

ddt	Comparaciones múltiples de Dunnet		
	Contraste:	T0 vs TM	Conclusión respecto a las medias
4	Diferencia	-0.3211	TM > T0
	Pr > Dif	0.0053	
	Diferencia significativa	SI	
7	Diferencia	-0.3113	TM > T0
	Pr > Dif	0.0047	
	Diferencia significativa	SI	
11	Diferencia	-0.2419	TM = T0
	Pr > Dif	0.0722	
	Diferencia significativa	NO	
14	Diferencia	-0.3679	TM > T0
	Pr > Dif	0.0089	
	Diferencia significativa	SI	
18	Diferencia	-0.2550	TM = T0
	Pr > Dif	0.0789	
	Diferencia significativa	NO	
21	Diferencia	-0.3621	TM > T0
	Pr > Dif	0.0241	
	Diferencia significativa	SI	
25	Diferencia	-0.1509	TM = T0
	Pr > Dif	0.4291	
	Diferencia significativa	NO	
28	Diferencia	-0.1400	TM = T0
	Pr > Dif	0.4172	
	Diferencia significativa	NO	
32	Diferencia	-0.2094	TM = T0
	Pr > Dif	0.2196	
	Diferencia significativa	NO	
35	Diferencia	0.0715	TM = T0
	Pr > Dif	0.7302	
	Diferencia significativa	NO	