

Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Magnetic fields effect over seeds germination of rice (*Oryza sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.)

Celina Torres¹, Jaime E. Díaz² y Paola Andrea Cabal³

RESUMEN

Las semillas vivas que no germinan fácilmente se conocen como latentes y en algunas ocasiones requieren tratamientos especiales para hacerlo. Hay especies para las que se desconoce la manera como logran la germinación e incluso se ignoran con frecuencia los mecanismos que convierten en latentes las semillas de una especie determinada. Con el propósito de desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan al mejoramiento de la germinación, este trabajo examinó el efecto de campos magnéticos con intensidades de 5 mT y de 10 mT sobre la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Igualmente se estudió el incremento de biomasa en plántulas de las mismas especies. Semillas de *O. sativa* y *L. esculentum* fueron expuestas a los campos magnéticos durante periodos de tiempo de 1, 10, 20 y 60 min, 24 y 48 h. Para los experimentos se utilizaron cajas de Petri y macetas de icopor. Se realizaron 14 tratamientos con 4 repeticiones cada uno para cada especie. Los resultados obtenidos indican efectos positivos en la germinación de las semillas de *O. sativa* para tiempos de exposición de 1 min y 48 h. En las semillas de *S. lycopersicum* el tiempo de exposición de 10 min mostró efectos positivos respecto al testigo. Las plántulas de *S. lycopersicum* presentaron un incremento más rápido de biomasa (longitud y peso) en la segunda semana con los tratamientos T3, T5, T6 y T10.

Palabras clave: biomasa, intensidad magnética, semillas latentes.

ABSTRACT

Seeds that are unable to germinate easily are known as dormant ones and, in some cases, special treatments are required to make them germinate. There are some species, for that the way to achieve germination of seeds is not known and the mechanisms that make seeds become dormant are often ignored. In order to develop the new technologies that may contribute to improvement of germination in dormant seeds, this research examined the effect of magnetic fields with strengths of 5 mT and 10 mT over the germinating process of rice (*Oryza sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seeds. The increase of biomass in seedlings belonging to these species was also studied. The *O. sativa* and *S. lycopersicum* seeds were exposed to magnetic fields at periods of time 1, 10, 20, and 60 min and 24 and 48 h. Petri dishes and styrofoam flowerpots were used for the experiments. Fourteen treatments were made with four replicates per species. The results showed positive effects over the seed germination in *O. sativa* seeds with exposure times of 1 min and 48 h. In *S. lycopersicum* seeds, a 10 min-exposure showed positive effects as compared with control seeds. The seedlings from these species presented the faster increase on biomass (length and weight) along the second week with treatments T3, T5, T6, and T10.

Key words: biomass, magnetic strength, dormant seeds.

Introducción

Un evento esencial dentro de la biología de las semillas es la germinación, proceso en el que ocurren cambios fisiológicos en su interior cuando se rompen las barreras que permiten la difusión del agua y los gases respiratorios. En la mayoría

de las semillas, la germinación termina con la emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales.

Para que una semilla germine se requieren ciertas condiciones favorables de humedad, temperatura, luz y oxígeno; cuando una semilla viva no germina en condiciones favo-

Fecha de recepción: julio 10 de 2007. Aceptado para publicación: julio 10 de 2008

¹ Profesora asociada, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali. cotorres@univalle.edu.co

² Profesor titular, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali. jaidia@univalle.edu.co

³ Asistente de investigación, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad del Valle, Cali. ocarina10@gmail.com

rables se considera que está en estado latente (Montes de Gómez, 1990).

Aunque no se conocen completamente los procesos que ocurren durante la germinación de la semilla, se pueden resumir en los siguientes: absorción de agua, iniciación de la actividad enzimática con incremento de la velocidad de respiración, asimilación y traslocación de las reservas alimenticias y alargamiento y división celular, dando lugar a la emergencia de la raíz y la plúmula (Hartman y Kester, 1988).

Los campos magnéticos superiores al campo magnético de la Tierra producen efectos sobre los organismos biológicos (Ueno, 1996). De acuerdo con Shimazaki y Shikuoka (1986), las semillas afectadas por campos magnéticos germinan con mayor intensidad. Jristova (1986) y Savelev (1988) propusieron que el efecto biológico del tratamiento magnético en las semillas depende de varios factores, entre los que se mencionan el régimen del tratamiento y la humedad de las semillas a tratar. Por otra parte, otros autores opinan que el efecto estimulador del campo magnético sobre los objetos biológicos puede atribuirse a un incremento de la actividad enzimática (Ghole, 1986; Osipova, 1990) y al aumento de la eficiencia de los procesos relacionados con la división celular (Pittman, 1965); sin embargo, otras opiniones sugieren que es debido a cambios producidos en la permeabilidad de las membranas y a la sensibilidad de los mecanismos de transporte a través de ellas (Newman, 1987; Osipova, 1990).

Con relación a incrementos en la germinación, se han obtenido resultados positivos: en semillas de arroz (Martínez *et al.*, 1999) y cebada (Martínez *et al.*, 2000), trabajando con intensidades de 150 mT y tiempos de exposición de 1, 10, 20, 60 min, 24 h y exposición crónica; en semillas de tabaco (Aladjadjian y Ylieva, 2003) y en maíz (Aladjadjian, 2002), trabajando con campos de 150 mT; en bellotas de alcornoque (Celestino *et al.*, 2000); en semillas de mostaza, con incrementos en su producción (Edmiston, 1972). Igualmente, se han examinado otras variables fisiológicas para las etapas de crecimiento en distintos cultivos de interés agronómico y forestal (Pittman, 1963 y 1972; Pittman y Ormrod, 1971; Namba *et al.*, 1995), para el crecimiento en plantas de tomate (Dayal y Shing, 1986) e incrementos en su producción (De Souza y Garci, 1999; De Souza *et al.*, 2006) y para el algodón (Leelapriya *et al.*, 2003). Muraji *et al.* (1998) hablan sobre el crecimiento radicular en el maíz. Los efectos sobre frutos inmaduros de tomate han sido estudiados por Boe y Salunkhe (1963).

Los posibles efectos estimulantes de los campos magnéticos sobre el incremento de la germinación de semillas y el aumento de biomasa en plantas de diferentes especies han sido reportados desde hace varias décadas (Audus, 1960). Sin embargo, los mecanismos que producen esos efectos no se han precisado y Phirke *et al.* (1966) sugieren que, medidas como el incremento en longitud y peso de las plantas, podrían explicarse por cambios bioquímicos y alteraciones en la actividad enzimática. Por otra parte, Takimoto *et al.* (2001) reportaron que la utilización de campos magnéticos de baja frecuencia en la germinación de semillas puede suprimir los efectos adversos generados por condiciones de altas temperaturas y humedades, pero dependiendo de la intensidad y frecuencia del campo magnético utilizado (Staselis y Duchovskis, 2004).

Los estudios bioquímicos de semillas después de tratamientos magnéticos muestran un incremento en la actividad de α -amilasa, lo que indica un incremento en la producción de la hormona vegetal giberelina y la actividad de la enzima hidrolítica fosfatasa ácida.

La respuesta de semillas a campos magnéticos de intensidad variable demuestra la posibilidad de controles electromagnéticos en los procesos de crecimiento (Kalinin *et al.*, 2005). Sin embargo, el elevado número de factores que intervienen en la interacción campo magnético-ser vivo dificulta el establecimiento de mecanismos de acción, por lo que deben tener mayor comprobación (Carbonell *et al.*, 2005).

Materiales y métodos

El proyecto se llevó a cabo en la Universidad del Valle, sede Meléndez-Cali, en los laboratorios de Fitopatología y la estación experimental de Biología, en donde se realizaron ensayos de germinación y de crecimiento.

Las semillas utilizadas para los ensayos, *O. sativa* y *S. lycopersicum* (Solanaceae), fueron suministradas por Semillas del Valle, con registros de germinación superiores a 90%.

Se utilizaron imanes de material cerámico de baja intensidad (5 mT y 10 mT), de configuración toroide. Los imanes de 5 mT con diámetro externo de 6 cm, interno de 3,5 cm y altura de 10 mm y los imanes de 10 mT con diámetro interno de 4 cm, externo de 8 cm y altura de 15 mm. Por cada intensidad del campo magnético, se emplearon 6 tiempos de exposición de las semillas (tabla 1). Se usó un testigo o control (C) por cada campo de exposición. Para cada uno de los tratamientos y el control se realizaron 4 repeticiones.

TABLA 1. Dosis magnéticas aplicadas a semillas de *Oryza sativa* y *Solanum lycopersicum*, en función del tiempo de exposición y la intensidad del campo magnético.

Tiempo de exposición	Tratamientos	
	Intensidad del campo magnético	
	I ₁ (5 mT)	I ₂ (10 mT)
0	C	C
1 min	T1	T7
10 min	T2	T8
20 min	T3	T9
60 min	T4	T10
24 h	T5	T11
48 h	T6	T12

C, muestra de control

Ensayos de germinación

Se tomó como medida de germinación la emergencia de la radícula. Los ensayos de germinación se realizaron a temperatura ambiente (temperatura promedio 25 °C) y se utilizó como sustrato papel de filtro humedecido con 10-15 mL de agua destilada estéril. Las semillas se colocaron en cajas de Petri de vidrio y 90 mm de diámetro. Para cada uno de las especies estudiadas y de acuerdo con las normas ISTA, en cada caja de Petri se colocaron 25 semillas distribuidas de manera circular y se humedecieron inicialmente durante 2 h en agua destilada, con el fin de partir de condiciones iguales de imbibición; posteriormente se expusieron a tratamientos magnéticos, colocando las distintas cajas de Petri sobre la cara norte de uno de los imanes, que se encontraban distribuidos al azar sobre una superficie plana.

Se realizaron 4 repeticiones para cada tratamiento, incluido el control, y en cada uno de los tratamientos se evaluó el porcentaje de germinación. Las semillas germinadas se iban retirando para facilitar conteos posteriores.

Ensayos de crecimiento

Se utilizaron recipientes de icopor con 500 g de suelo, que fueron humedecidos con 50 mL de agua destilada. En cada recipiente se colocaron 6 semillas y se cubrieron con una capa de 3 cm de suelo. Finalmente se añadieron otros 20 mL de agua. Transcurridas 24 h, se colocaron al azar los recipientes sobre la cara norte de un imán. Después de dos semanas de crecimiento, las plántulas se retiraron de los recipientes, teniendo cuidado de no dañar la parte radicular;

se lavaron y se hicieron las mediciones de longitud total, longitud del tallo, peso seco total y peso seco del tallo para cada una de las plantas.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS 13.0, que compara los valores obtenidos para cada uno de los tratamientos con el obtenido al tiempo de exposición 0 (control). Se consideraron como significativos los resultados obtenidos para niveles de confianza de 95% y 99%, que corresponden a diferencias muy significativas ($P < 0,01$) y significativas ($P < 0,05$). En los análisis de varianza se utilizó un diseño factorial para dos factores: factor A, tiempos de exposición; factor B, intensidad magnética y la interacción de los dos factores en los tratamientos T1-T12.

A los análisis de varianza que mostraron diferencias significativas (95% de confianza y $P < 0,05$ y 99% de confianza y $P < 0,01$) se les aplicó la prueba de Tukey, con el fin analizar cada factor de manera independiente. Cuando la interacción de los factores resultó significativa, se realizó la prueba de contrastes ortogonales, para encontrar cuál combinación (tratamientos) de los factores era la más significativa.

El modelo factorial cumple con los siguientes supuestos: los residuales siguen una distribución normal, se cumple el principio de independencia y la varianza es constante.

Resultados y discusión

Ensayos de germinación para arroz

Para todos los tratamientos con *O. sativa* los resultados obtenidos señalan mayores porcentajes de germinación que en el control, presentando diferencias significativas a 86 y 116 h de iniciado el ensayo. Los tiempos de exposición magnética en los tratamientos T1, T6, T7 y T12 mostraron las mejores respuestas, independientemente de la intensidad del campo.

Las semillas de *O. sativa* comenzaron a germinar 62 h después de iniciado el experimento, finalizando su proceso germinativo a las 122 h. Los resultados obtenidos para porcentajes de germinación muestran que las semillas de arroz alcanzaron a las 86 h porcentajes de germinación superiores al control entre 6%-11%. A las 116 h la germinación de los tratamientos continuó siendo mayor que el control, pero la diferencia en los porcentajes de germinación entre las semillas tratadas y el control se redujo a 3% y 7%, respectivamente.

El análisis de varianza para la germinación de las semillas de arroz muestra que no existen diferencias significativas entre las dos intensidades (5 mT y 10 mT), pero sí que se

presentan diferencias en los resultados, respecto al tiempo de exposición a la intensidad del campo magnético (tablas 2 y 3). Los análisis muestran que no existen diferencias significativas al interactuar los diferentes factores, es decir, al exponer las semillas por determinado tiempo a una intensidad de campo magnético.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Martínez *et al.* (1999) y Carbonell *et al.* (2000), quienes encontraron incrementos en el porcentaje de germinación en semillas de *O. sativa*, utilizando campos magnéticos de 150 mT y 250 mT. El tratamiento crónico a una exposición magnética de 150 mT incrementó el porcentaje de germinación en 18%; también se obtuvieron diferencias significativas para semillas expuestas a exposiciones magnéticas

de 250 mT por 20 min, con un aumento reportado de 12% (Carbonell *et al.*, 2000).

Al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con los presentados por Martínez *et al.* (1999) y Carbonell *et al.* (2000), se aprecia que al aumentarse la intensidad del campo magnético, se incrementa la diferencia en los porcentajes de germinación, con respecto al control. En las figuras 1a y 1b se observan los porcentajes de germinación de *O. sativa* para todos los tratamientos usados en el proceso.

Para las semillas de *O. sativa* los tratamientos más significativos a las 86 h fueron T1 y T6, con los que se obtuvieron porcentajes de germinación de 71% y 70%, respectivamente; a las 116 h, para estos mismos tratamientos se presentó un

TABLA 2. Anova de la germinación de las semillas de *Oryza sativa* expuestas a un campo magnético. Tiempo de exposición, 86 h.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
Modelo corregido	27,714	13	2,132	2,326	0,020 ns
Tipo de imán (5-10 mT)	0,643	1	0,643	0,701	0,407 ns
Tiempo de exposición	24,464	6	4,077	4,448	0,001**
Tipo de imán × Tiempo de exposición	2,607	6	0,435	0,474	0,824 ns
Error	38,500	42	0,917		
Total	15.912,000	56			
Modelo corregido	66,214	55			

ns, no significativo

** Diferencias muy significativas al 99% ($P < 0,01$)

TABLA 3. Anova de la germinación de las semillas de *Oryza sativa* expuestas a un campo magnético. Tiempo de exposición, 116 h.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
Modelo corregido	25,589	13	1,968	1,395	0,202ns
Tipo de imán (5-10 mT)	0,018	1	0,018	0,013	0,911ns
Tiempo de exposición	21,714	6	3,619	2,565	0,033*
Tipo de imán × Tiempo de exposición	3,857	6	0,643	0,456	0,837ns
Error	59,250	42	1,411		
Total	31.815,000	56			
Modelo corregido	84,839	55			

ns, no significativo

* Diferencias significativas al 95% ($P < 0,05$)

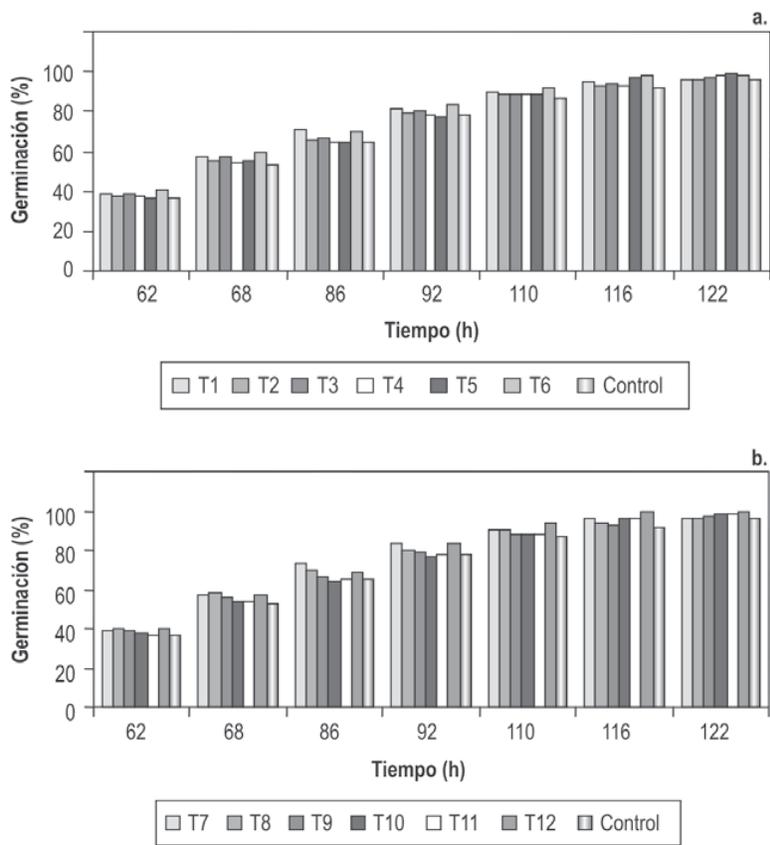


FIGURA 1. Porcentajes de germinación de semillas de *Oryza sativa* en relación con el tiempos de exposición a dos intensidades magnéticas: a) imán 5 mT, tratamientos T1-T6 y b) imán 10 mT, tratamientos T7-T12.

porcentaje de germinación de 95% y 98%, respectivamente. En ambos casos hubo diferencias significativas con respecto al control. También se observó a las 86 h un porcentaje de germinación de 73% para el T7 y de 69% para el T12, mientras que el control tuvo un 65%. A las 116 h, estos mismos tratamientos obtuvieron porcentajes respectivos de germinación de 96% y 99%, mientras que para el control fue de 92%.

Para verificar los datos obtenidos en el Anova y determinar cuáles tratamientos presentaron diferencias significativas, se realizó un test de Tukey, que determinó una diferencia significativa para el tiempo de exposición de 1 min (T1 y T7). También se observaron diferencias significativas para el tiempo de exposición de 48 h (T6 y T12), con un nivel de confianza de 95%.

Ensayo de germinación para tomate

Las semillas de *S. lycopersicum* comenzaron a germinar a las 48 h, terminando su proceso germinativo a las 140 h (tablas 4 y 5). Los resultados obtenidos muestran que las semillas

de *S. lycopersicum* presentaron diferencias significativas a 72, 94, 98 y 121 h de llevarse a cabo el ensayo (figura 2).

El mayor porcentaje de germinación fue para el T2 a las 94 h, con un porcentaje de germinación de 66%; este mismo tratamiento a las 72 h presentó un porcentaje de germinación de 54%. Para el T7, el mayor aumento en el porcentaje de germinación frente al control fue a las 94 h, y a las 121 h mostró un porcentaje de germinación de 94%. Para el tiempo de exposición de 48 h, el T6 presentó mayores incrementos con 94 y 121 h, y un porcentaje de germinación de 61% y 93%, respectivamente.

Los tratamientos T2, T6 y T8 mostraron la mejor respuesta. El porcentaje de germinación más alto fue para el T2 a las 94 h, con un porcentaje de incremento de 17% frente al control. El porcentaje se mantuvo casi constante para este tratamiento hasta las 72 h.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas para los tiempos de exposición de 72, 94, 98 y 121 h. En la prueba

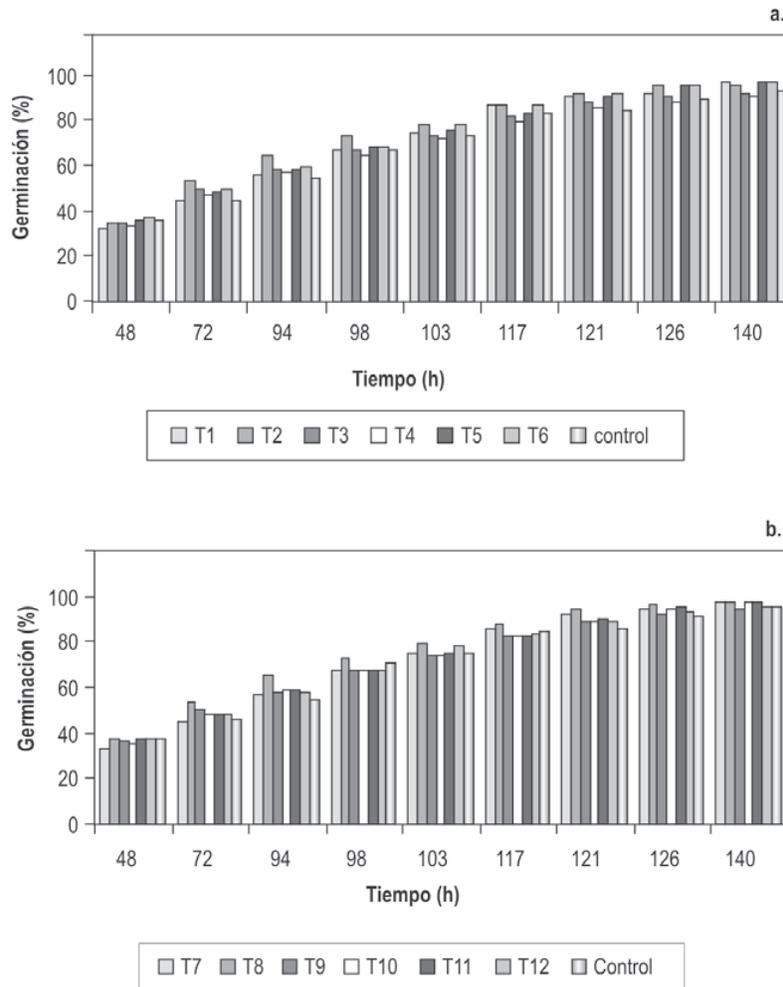


FIGURA 2. Porcentajes de germinación de semillas de *Solanum lycopersicum* en relación con el tiempos de exposición a dos intensidades magnéticas: a) imán 5 mT, tratamientos T1-T6 y b) imán 10 mT, tratamientos T7-T12.

de Tukey se puede observar que el tiempo de exposición que mostró mayor diferencia fue el de 10 min (T2 y T8).

De Souza y Garci (1999) estudiaron el efecto del tratamiento magnético de semillas de tomate sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas en condiciones controladas, con tres niveles de intensidad de campo magnético constante (80, 100 y 170 mT) y tiempos diferentes de exposición (1, 3, 5, 10, 15, 20 y 25 min), observando aumentos en los porcentajes de germinación a los 5 d. En la germinación, los análisis de varianza mostraron que no existen diferencias significativas.

Ensayos de crecimiento para arroz (*O. sativa*)

Aunque en apariencia los resultados mostraron diferencias significativas de biomasa (peso y longitud total de las

plántulas) con respecto al control, el análisis estadístico indica que estas diferencias no son significativas. El tiempo de exposición, la intensidad del campo o la interacción de ambos no presentaron diferencias significativas en el crecimiento o el peso total de las plantas. Es posible que las intensidades de campo magnético utilizadas no sean suficientemente altas para estimular el aumento de la biomasa de las plantas de *O. sativa*.

Ensayos de crecimiento para tomate

El análisis de varianza de la longitud total en *S. lycopersicum* mostró que sólo la interacción de los factores intensidad del campo magnético y tiempo de exposición presentó diferencias estadísticamente significativas, con 99% de confianza. El análisis post-Anova indica que los tratamientos T3, T5, T6, y T7 lograron superar las medidas de longitud

total obtenidas en el control. Para estos tratamientos los porcentajes de incremento variaron entre 8% y 18%, con respecto al control.

La evaluación independiente del tiempo de exposición y la intensidad de los imanes no mostró diferencias significativas. Por el contrario, la evaluación conjunta de ambos factores presentó resultados similares a los obtenidos por De Souza y Garci (1999), quienes al estudiar el crecimiento de plántulas de tomate encontraron estímulos positivos entre 5% y 25%, para 12 de 21 tratamientos estudiados, señalando que la acción conjunta de niveles de intensidad del campo y tiempo de exposición permite mejores desarrollos en el crecimiento de las plántulas.

Los tratamientos T5 y T10 mostraron un incremento en el peso total de 18%, con respecto al control. El aumento de biomasa en algunos tratamientos de *S. lycopersicum* coincide con lo reportado en otros trabajos sobre plantas

de especies diferentes; Martínez *et al.* (2002) encontraron incrementos en longitud y peso en las plantas de *Triticum aestivum*, a las que les aplicaron dos intensidades de campo magnético (6.217 y 24.868 J·m⁻³) durante 1, 10, 20, 60 min y 24 h, obteniendo diferencias significativas para el tratamiento crónico, que presentó incrementos en longitud y peso con relación al control. Para la primera intensidad magnética, en cuanto a la longitud se alcanzó un incremento de 7,3% y en peso, de 17,6%; para la segunda intensidad magnética, la longitud aumentó en 30,9% y el peso, en 29,9%.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este experimento muestran que los campos magnéticos estacionarios de pequeña intensidad (5 mT y 10 mT) estimulan la germinación de las semillas de arroz y tomate, al igual que el crecimiento de plántulas de tomate. El tiempo de exposición fue el factor de mayor

TABLA 4. Anova de la germinación de semillas de *Solanum lycopersicum* expuestas a un campo magnético. Tiempo de exposición: 72 h.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
Modelo corregido	19,089	13	1,468	2,836	0,005
Tipo de imán (5-10 mT)	0,161	1	0,161	0,310	0,580 ns
Tiempo de exposición	12,214	6	1,119	3,931	0,003**
Tipo de imán × Tiempo de exposición	6,714	6	0,518	2,161	0,066
Error	21,750	42	0,387		
Total	8.177,000	56			
Modelo corregido	40,839	55			

ns, no significativo

** Diferencias muy significativas al 99% ($P < 0,01$)

TABLA 5. Anova de la germinación de semillas de *Solanum lycopersicum* expuestas a un campo magnético. Tiempo de exposición: 94 h.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	Sig.
Modelo corregido	33,089	13	2,545	4,152	0,000
Tipo de imán (5-10 mT)	0,875	1	0,875	1,427	0,220 ns
Tiempo de exposición	31,214	6	5,202	8,485	0,000**
Tipo de imán × Tiempo de exposición	1,000	6	0,167	0,272	0,945
Error	25,750	42	0,613		
Total	12.331,000	56			
Modelo corregido	56,839	55			

ns, no significativo

** Diferencias muy significativas al 99% ($P < 0,01$)

incidencia en la germinación de las semillas de *O. sativa* y *Solanum lycopersicum*. La interacción de los dos factores (tiempo e intensidad) sólo resultó ser significativa en las plantas de *S. lycopersicum*.

La exposición a los campos magnéticos de 5 mT y 10 mT tuvo efecto positivo en la germinación de *O. sativa* para tiempos de exposición de 1 min y 48 h.

La mayor incidencia de los campos magnéticos sobre la germinación de *S. lycopersicum* se presentó cuando las semillas se expusieron durante 10 min y 48 h.

Durante las dos semanas del ensayo, en las plantas de *S. lycopersicum* se presentó un incremento de la biomasa (longitud y peso total de las plantas) entre 8%-18%, comparado con el control, para los tratamientos T3, T5, T6 y T10.

Los campos magnéticos de baja intensidad mostraron incidencia en el aumento de la germinación de las semillas de tomate y arroz y un incremento mayor de la biomasa en las plantas de tomate.

Literatura citada

- Aladjadjiyan, A. 2002. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mays*. Central Europ. Agr. 3(2), 89-94.
- Aladjadjiyan, A. y T. Ylieva. 2003. Influence of stationary magnetic field on the early stages of development of tobacco seeds (*Nicotina tabacum* L.). Central Europ. Agr. 4(2), 132-136.
- Audus, L.J. 1960. Magnetotropism: a new plant-growth response. Nature 185, 132-134.
- Boe, A.A. y D.K. Salunkhe. 1963. Effect of magnetic fields on tomatoes ripening. Nature 199, 91-92.
- Carbonell, M.V., E. Martínez y J.M. Amaya. 2000. Stimulation of germination in rice (*Oryza sativa* L.) by a static magnetic field. Electromagn. Biol. and Med. 19(1), 121-128.
- Carbonell, M.V., E. Martínez y M. Flores. 2005. Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125 mT en la germinación de semillas de girasol. Revista Eidenar 1(3), 34-39.
- Celestino, C., M. Picazo y M. Toribio. 2000. Influence of chronic exposure to an electromagnetic field on germination and early growth of Quercus suber seeds: preliminary study. Electromagn. Biol. Med. 19(1), 115-120.
- Dayal, S. y R.P. Shing. 1986. Effect of seed exposure to magnetic field on the height of tomato plants. Ind. J. Agr. Sci. 56(6), 483-486.
- De Souza, A. y D. Garci. 1999. Efecto del tratamiento magnético de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas. Investigación Agronómica de Protección Vegetal 14(3), 437-444.
- De Souza, A., D. Garci, L. Sueiro, F. Gilart, E. Porras y L. Licea. 2006. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. Bioelectromagnetics 27, 247-257.
- Edmiston, J. 1972. The effect of the field of a permanent magnet on the germinations and growth of white mustard (*Brassica alba* L.) seeds. Intl. J. Biometeor. 16(1), 13-14.
- Ghole, V.S. 1986. Effect of magnetic field on ascorbic acid oxidase activity. I. Z. Naturforsch. 41c, 355-358.
- Hartman, H. y D. Kester. 1980. Propagación de plantas. Principios y práctica. Compañía editorial Continental, Mexico. 760 p.
- Jristova, M. 1986. Técnicas de irradiación en la agricultura y la industria alimenticia, pp. 87-113. En: Memorias II Escuela para los problemas actuales de las ciencias nucleares, La Habana, 1985 (Universidad de la Habana). Centro de información de la energía nuclear, Sección II: Aplicaciones de las técnicas nucleares a la economía nacional.
- Kalinin L.G., I.L. Boshkova, G.I. Panchenko y S.G. Kolomiichuk. 2005. The influence of a low- and high-frequency electromagnetic fields on seeds. Biofisika 50(2), 361-366.
- Leelapriya, T., K.S. Dhilip y P.V. Sanker Narayan. 2003. Effect of weak sinusoidal magnetic on germination and yield of cotton (*Gossypium ssp.*). Electromagn. Biol. Med. (2), 117-125.
- Martínez, E., V. Carbonell y C. Duarte. 1999. Efecto del tratamiento magnético en la germinación de arroz (*Oryza sativa*). Alimentaria 304, 95-98.
- Martínez, E., M.V. Carbonell y J. Amaya. 2000. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). Electromagn. Biol. Med. 19(3), 271-277.
- Martínez, E., M.V. Carbonell y M. Florez. 2002. Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum* L.). Electromagn. Biol. Med. 21(1), 43-53.
- Montes de Gómez, V. 1990. Causas bioquímicas del bajo poder germinativo de semillas. pp. 109-110. En: Triviño-Díaz, T. y L.F. Jara (comps.). Memorias del seminario-taller sobre investigaciones en semillas forestales tropicales, Bogotá, octubre 26-28 de 1988. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (Conif), Serie Documentación, Bogotá.
- Muraji, M., T. Asai y W. Tatebe. 1998. Primary root growth of *Zea mays* seedlings grown in an alternating magnetic field of different frequencies. Bioelectrochemistry and Bioenergetics 44(2), 271-273.
- Namba, K., A. Sasao y S. Shibusawa. 1995. Effect of magnetic field on germination and plant growth. Acta Hort. 399, 143-148.
- Newman, E. 1987. Electromagnetic fields and ionic reactions at membrane interfaces. Studia Biophysica 119(1-3), 13-15.
- Osipova, L.D. 1990. Influencia de los campos magnéticos sobre los tejidos de callos de frutales (en ruso). Biull. Cent. Ord. Trud. Krasn. Zn. Genet. Lab. Im. Michurina 49, 22-25.
- Phirke, P.S., A.B. Kubde y S.P. Umbarkar. 1996. The influence of magnetic field on plant growth. Seed Sci. Technol. 24, 375-392.
- Pittman, U.J. 1963. Effects of magnetism of seedling growth of cereal plants. Biomed. Sci. Instrument. 1, 117-122.

- Pittman, U.J. 1965. Magnetism and plant growth. III. Effect on germination and early growth of corn and beans. *Can. J. Plant Sci.* 45, 549-555.
- Pittman, U.J. y D.P. Ormrod. 1971. Biomagnetic responses in germinating malting barley. *Can. J. Plant Sci.* 51, 65-65.
- Pittman, U.J. 1972. Biomagnetic responses in potatoes. *Can. J. Plant Sci.* 52, 727-733.
- Savelev, B.A. 1988. Formas de determinar el efecto estimulador en semillas de trigo (en ruso). *Nauki* 2, 19-23.
- Shimazaki F. y H. Shizuoka. 1986. Verfahren zur Herstellung von Magnitisiertem. Patente P36138916.
- Staselis A. y P. Duchovskis. 2004. Impact of electromagnetic field on morphogenesis an physiological indices of tomato. *Intl. Agrophysics* 18(3), 277-283.
- Takimoto, K., H. Yaguchi y J. Miyakoshi. 2001. Extremely low frequency magnetic fields suppress the reduction of germination rate of *Arabidopsis thaliana* seeds kept in saturated humidity. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 65(11), 252-255.
- Ueno, S. 1996. Biological effects of magnetic and electromagnetic fields. Plenum Press, Nueva York. pp. 1-27.