

SEMILLA DE MAÍZ BAJO LA INFLUENCIA DE IRRADIACIÓN DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD IN MAIZE SEED VIGOR

Arturo Domínguez Pacheco^{1*}, Claudia Hernández Aguilar¹, Alfredo Cruz Orea², Aquiles Carballo Carballo³, Rosalba Zepeda Bautista¹ y Efraín Martínez Ortiz¹

Sepi-Esime, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Zacatenco. Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”. Col. Lindavista. 07738, México, D. F., México. ¹Departamento de Física, CINVESTAV – IPN. A. P. 14-740. 07360, México, D.F., México. ³Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Producción de Semillas, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, México.

* Autor para correspondencia (fartur@hotmail.com)

RESUMEN

La energía electromagnética actúa sobre la materia e interrelaciona con los organismos biológicos, en cada etapa de desarrollo desde la germinación, y por ello puede ser una técnica de bajo costo para mejorar la calidad de semilla. En esta investigación se evaluó el efecto de la irradiación electromagnética sobre la calidad fisiológica de la semilla de maíz (*Zea mays* L.), del híbrido experimental ‘CL-11 x CL-12’, con un campo electromagnético de baja frecuencia. Se compararon 12 tratamientos de campos magnéticos, con intensidades de 160 y 560 mT y siete tiempos de exposición (t) de 0, 30, 60, 120, 240, 360 y 480 min, en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Hubo diferencias estadísticas significativas en la velocidad de emergencia y porcentaje de establecimiento de plántulas al cuarto día, y al día 17 en el peso seco. Se detectó bioestimulación positiva con exposición de 30 y 60 min a una intensidad de 560 y 160 mT (dosis de 705.6 y 27.42 K J m⁻³ s⁻¹, respectivamente). Con la dosis de 705.6 K J m⁻³ s⁻¹ hubo un incremento significativo de 69.2 % en comparación con el testigo en velocidad de emergencia, de 90.5 % en establecimiento de plántulas y de 36.6 % en peso seco.

Palabras clave: *Zea mays*, campo electromagnético, calidad de semilla, vigor.

SUMMARY

Electromagnetic energy acts on matter and interacts with biological organisms during each stage of development, seed germination being no exception. Thus, electromagnetic irradiation could use be as a valid, low-cost seed enhancement technique for improving seed quality. The effect of electromagnetic irradiation on the physiological quality of maize (*Zea mays* L.) seed was studied, using experimental hybrid ‘CL-11 x CL-12’. Twelve different magnetic field intensities of 160 and 560 mT and seven exposure periods of 0, 30, 60, 120, 240, 360 y 480 min, under a completely randomized experimental block design with four replications were tested. Results showed that on the 4th day after emergence started, there were significant effects on seedling emergence rate, seedling establishment and seedling dry weight was significantly different by day 17th. Positive biostimulation with exposure of 30 and 60 min at intensities

of 560 and 160 mT (dosages of 705.6 and 27.42 K J m⁻³ s⁻¹, respectively) was observed. A dosage of 705.6 K J m⁻³ s⁻¹ produced significant increases of 69.2 % on seedling emergence rate, of 90.5 % on seedling emergence and of 36.6 % on seedling dry weight compared with the control.

Index words: *Zea mays*, electromagnetic field, seed quality, seed vigor.

INTRODUCCIÓN

Los efectos magnéticos en las plantas se explican por la transferencia de energía sobre la materia que contiene radicales libres que son atraídos o repelidos en función de su carga. La transferencia de energía ocurre cuando en estos radicales aumenta la carga y así se activan, lo que origina una bioestimulación, cuya magnitud depende de los parámetros adecuados de la energía que se transfiere de acuerdo al modelo par radical, que tiene un papel esencial en la magneto-recepción (Galland y Pazur, 2005). Los campos magnéticos intensos cambian las características de la membrana celular, el metabolismo celular, la reproducción celular y varias otras funciones, como la cantidad de ARNm, la expresión génica, la biosíntesis de proteínas y las actividades enzimáticas (Atak *et al.*, 2003; Mietchen *et al.*, 2005); los materiales no magnéticos son elevados (levitados) por las fuerzas magnéticas aplicadas a fuertes intensidades de campo (Ikezoe *et al.*, 1998) o cambian su dirección. Los campos electromagnéticos de bajos niveles de intensidad aplicados a semillas, plántulas, y agua de riego afectan el crecimiento de la plántula y las características de sus órganos y tejidos (Palmer, 1963; Boe y Salunkhe, 1963; Ponomarev y Fesenko, 2000; Pietruszewski, 2007; Hernández *et al.*, 2009).

Hirota *et al.* (1999) observaron cambios en la dirección del crecimiento de la plántula después de aplicar un campo magnético no-uniforme de 10 Teslas durante la germinación de semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Al irradiar semillas de chícharo (*Pisum sativum* L.) con un electro-magneto Podleony *et al.* (2005) observaron mayor porcentaje de plántulas emergidas en comparación con el testigo no irradiado. Alexander y Doijode (1995) observaron que después de la exposición de la semilla de cebolla (*Allium cepa* L.) al campo electromagnético, hubo un incremento de 127 % en la emergencia y de 36.6 % en la germinación, en comparación con el testigo. Como consecuencia de radiar semillas de maíz (*Zea mays* L.) con un solenoide, se detectaron incrementos de 123.2, 110 y 30.1 % en la velocidad de emergencia, porcentaje de emergencia y peso seco de plántulas (Hernández *et al.*, 2009). La aplicación de campos electromagnéticos (1, 2, 4, 8 y 12 mT) a una frecuencia de 50 Hz, mediante un par de bobinas Helmholtz, a plántulas de maíz durante 12 d después de iniciada la germinación, causó reducción de 12 % en el contenido de ácidos nucleicos (ADN y ARN), en comparación con el testigo (Racuciu *et al.*, 2007).

Hernández *et al.* (2007) incrementaron el vigor mediante la aplicación de campo magnético con imanes permanentes a semillas de maíz. La irradiación aplicada a semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.), también causó un aumento en el crecimiento de las plántulas (Martínez *et al.*, 2009). La aplicación de un imán permanente de Nd-Fe-B en semillas de rábano (*Raphanus sativus*) aumentó la curvatura de las raíces (Yano *et al.*, 2001). Con la aplicación en pre-siembra de un campo magnético estático generado por un sistema Zeeman, a semillas de lentejas (*Lens culinaris* L.), que contienen Fe²⁺ como elemento ferromagnético, se incrementó la actividad enzimática en las raíces y se observó más resistencia a sequía, en comparación con el testigo (Shabrangi y Majd, 2009).

El maíz es un grano básico en la alimentación de los mexicanos. En 2008 se sembraron 7.94 millones de hectáreas con maíz para grano, para lo cual se requirieron 158 mil 884 t de semilla. Sin embargo, en México sólo se produjeron 11 mil 400 t de semilla certificada de maíz que se usaron para sembrar 570 mil ha (SIAP, 2009), lo que evidencia un déficit de semilla. Para incrementar la producción de maíz se requiere semilla de calidad que permita lograr un buen establecimiento del cultivo, así como su crecimiento y productividad (Zepeda *et al.*, 2002). El vigor de la semilla es un componente de la calidad que está relacionado con una rápida y uniforme emergencia de plántulas (Artola *et al.*, 2003).

Como la industria semillera tiene el problema de producir semillas con bajo vigor (Hampton, 2002), se han aplicado técnicas para mejorar la calidad fisiológica de la semilla. Al respecto, con aplicación de fertilizante foliar en un lote de producción de semilla de híbridos de maíz, Zepeda *et al.* (2002) observaron un aumento en germinación de semillas y en el vigor de las plántulas, éste medido por el peso seco; con fertilización edáfica de 75 kg ha⁻¹ de P y K aumentaron el porcentaje de establecimiento de plántulas de maíz (Bevilaqua *et al.*, 1996).

Es posible incrementar la producción de maíz en México, cuyo consumo por persona en 2005 fue de 121.1 kg año⁻¹ (FAO, 2007), mediante la mejora de la calidad de semilla con técnicas amigables con el ambiente, que no lo dañen como ha ocurrido con el empleo excesivo de agroquímicos (Vasilevsky, 2003). Con aplicación de radiación electromagnética se ha logrado incrementar la calidad de la semilla cuando se conoce la combinación adecuada de parámetros para producir efectos favorables en función del tipo de semilla.

Por ello en esta investigación se planteó como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de irradiación electromagnética aplicada a semillas de maíz híbrido 'CL-12 x CL-11', sobre el vigor de la semilla medido como velocidad de emergencia, porcentaje de establecimiento y peso seco de las plántulas, bajo la hipótesis de que el campo electromagnético estimula positivamente a la semilla de maíz para lograr un mayor vigor y establecimiento de las plántulas más rápido y uniforme.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizaron semillas del híbrido de cruza experimental simple 'CL-12 x CL-11' cultivado en campo en Texcoco, Estado de México, en 2005. La semilla es semicristalina y fue proporcionada por el Área de Mejoramiento y Control de la Calidad Genética, del Programa de Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados. Las semillas fueron homogeneizadas por tamaño y forma con ayuda del programa UTHSCSA Image Tool, de la Universidad de Texas versión 3.1 (2002). La semilla seleccionada tenía un área de 0.39 ± 0.06 mm², con un peso promedio de 240 g, en 1000 semillas, medidas en cuatro muestras de mil semillas cada una.

Tratamientos de la semilla con campo electromagnético

En febrero del 2007 en el laboratorio se aplicó un método físico de campo magnético como tratamiento a la

semilla maíz previo a la siembra y la inducción magnética se midió en Teslas (T), la unidad de inducción magnética ($1T = 1 \text{ V} \cdot \text{s m}^{-2} = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$). El prototipo irradiador usado genera el campo electromagnético por el paso del flujo de corriente a través de cuatro inductores (bobinas), y mediante un interruptor se selecciona el nivel de corriente que alimenta al sistema para así tener el nivel deseado de inducción magnética. Las semillas se colocaron aleatoriamente en un recipiente dieléctrico que se ubicó dentro del campo magnético. Como el campo magnético cambia de la periferia hacia el centro, el contenedor de semillas se colocó dentro de un espacio homogéneo. Los valores de inducción magnética aplicados fueron de $B_1 = 160$ y $B_2 = 560$ mT, y se sometieron a seis tiempos de exposición (Cuadro 1).

La dosis de exposición (D_{exp}) descrita como: $D_{\text{exp}} = \rho_M t$; donde: $\rho_M = \frac{1}{2} \mu_0 H_m^2$, es la densidad de energía de campo magnético ($\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$), μ_0 es la permeabilidad de vacío, H_m es la intensidad de campo magnético dado en amperes por metro ($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$), y t es el tiempo de exposición en s (Pietruszewsky, 2007). Durante la irradiación de la semilla, su temperatura se incrementó debido al efecto Joule generado en las bobinas; por ello se registró la temperatura en el contenedor de la semilla, al término de la irradiación de cada tiempo aplicado (Cuadro 2). La inducción magnética se midió con un gaussómetro (Lakeshore®, modelo 410 Westerville, OH, USA).

Prueba de velocidad de emergencia

En febrero y marzo de 2007 se hizo la prueba de velocidad de emergencia (dos días después de aplicarse el tratamiento electromagnético a la semilla) en un almácigo bajo microtúnel, con dimensiones de $1.8 \times 1.8 \times 0.2$ m. Como sustrato se usó suelo franco arcilloso. Para la siembra se trazaron surcos separados a 3.2 cm, de una longitud de 80 cm.

Las 25 semillas de cada repetición se colocaron verticalmente (con el embrión hacia abajo) presionando ligeramente para introducirlas al sustrato, y las coronas se dejaron visibles. Posteriormente, se cubrieron con una capa de sustrato de 10 cm que ejerció una fuerza de $544.148 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$. Diariamente se aplicó un riego a las 10:00 h. La temperatura promedio fue $17.35 \text{ }^\circ\text{C}$, con una máxima de $29.7 \text{ }^\circ\text{C}$ y una mínima de $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

La emergencia se empezó a registrar a los 11 d de haber sembrado la semilla. Posteriormente se hicieron conteos diarios a la misma hora, hasta que el número de plántulas fue constante (17 d después de iniciada la emergencia). La velocidad de emergencia (VE) se calculó de acuerdo con Maguire (1962), mediante la Ec. 1. El porcentaje de establecimiento (PE) se evaluó al cuarto día de haber iniciado la emergencia, y se calculó con la Ec. 2, pero previo a su análisis de varianza se transformó con arco seno.

$$VE = \frac{\text{número de coleóptilos emergidos}}{\text{días al primer conteo}} + \dots + \frac{\text{número de coleóptilos emergidos}}{\text{días al conteo final}} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\% PE = \frac{\text{Número de plántulas normales al final de la prueba}}{25} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde 25 es el tamaño de la unidad experimental empleada.

Una vez concluida la emergencia, las plántulas se extrajeron cuidadosamente del suelo y se cuantificaron las plántulas normales, anormales y semillas muertas, de acuerdo con las reglas de la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA, 1999). Posteriormente, se separó la parte aérea a partir de la inserción del tallo y la raíz; la parte aérea se introdujo en bolsas de papel y se colocó en estufa a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 h finalmente, se pesó su materia seca (PSA) con una báscula marca Ohaus® modelo HH120 D (USA).

Cuadro 1. Dosis de inducción electromagnética ($\text{K J m}^{-3} \text{ s}^{-1}$) aplicadas a semillas de maíz.

Inducción magnética (B) (mT)	Tiempo de exposición (min)						
	0 [†]	30.0	60.0	120.0	240.0	360.0	480.0
$B_1 = 160$	0	13.71	27.42	54.85	109.71	164.60	213.33
$B_2 = 560$	0	705.60	14112.0	28224.0	56448.0	84672.0	109760.0

[†]Testigo (sin irradiación electromagnética).

Cuadro 2. Temperatura ($^\circ\text{C}$) en el contenedor de semillas, registrada al final de la exposición a la inducción electromagnética.

Inducción magnética (B) (mT)	Tiempo de exposición (min)					
	30	60	120	240	360	480
$B_1 = 160$	25	28	30	33	35	38
$B_2 = 560$	28	32	37	42	46	51

Testigo = $24 \text{ }^\circ\text{C}$.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y la unidad experimental constó de 25 semillas. El análisis de varianza se hizo con el procedimiento PROC GLM de SAS (SAS Institute, 1999), y a las variables que tuvieron efecto significativo ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey, también con el programa SAS (Statistical Analysis System).

RESULTADOS

Al cuarto día de iniciada la emergencia de las plántulas, se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos de radiación electromagnética para velocidad de emergencia (VE) y porcentaje de establecimiento de plántulas (PE), y al final de la prueba (17 d) en el peso seco de la parte aérea (PSA) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios y valor de probabilidad para variables de vigor de semillas de un híbrido de maíz sometido a tratamientos de inducción electromagnética, y luego germinadas en condiciones de microtúnel. Montecillo, México, 2007.

FV	GL	VE	PE	PSA
Repeticiones	3	0.04	22.49	0.62
Tratamiento	12	0.11*	80.31**	0.36*
Error	36	0.02	12.28	0.17
R ²		0.61	0.70	0.51
CV (%)		22.42	10.92	22.1
Media		0.72	28.61	1.86

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; VE = velocidad de emergencia al cuarto día; PE = porcentaje de establecimiento al cuarto día; PSA = peso seco de parte aérea a los 17 días; R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación; *, ** = diferencias significativas a 5 y 1 % de probabilidad de error.

También se observaron correlaciones negativas ($P \leq 0.05$) entre la temperatura final del tratamiento de radiación electromagnética (Cuadro 2) y velocidad de emergencia ($r = -0.34^{**}$), peso seco de la parte aérea de la plántula ($r = -0.31^{*}$) y porcentaje de establecimiento ($r = -0.31^{*}$), que indican que al aumentar la temperatura las variables de respuesta disminuyen (Cuadro 4). En los Tratamientos del 7 al 12 se encontró que al aumentar la temperatura, la velocidad de emergencia disminuye, al igual que el porcentaje de establecimiento y el peso seco de plántula.

Las mayores respuestas positivas a la bioestimulación se observaron en los tiempos de exposición de 30 y 60 min, con inducciones magnéticas (B) de 560 y 160 mT, que corresponde a las dosis de 705.6 y 27.42 K J m⁻³ s⁻¹. El mejor tratamiento fue con 560 mT con 30 min de tiempo de irradiación de (705.6 K J m⁻³ s⁻¹), en el que hubo aumentos ($P \leq 0.05$) en velocidad de emergencia (69.2

%), porcentaje de establecimiento de plántulas (90.5 %) y peso seco de parte aérea de plántula (36.6 %), en comparación con el testigo no irradiado.

En general, las variables de respuesta presentaron un patrón de comportamiento parecido al alcanzar un valor máximo en comparación con el testigo con las dosis óptima de irradiación, para luego disminuir (Cuadro 4). Las cinéticas de emergencia de las plántulas, del mejor tratamiento y del testigo se muestran en la Figura 1, donde se compara el comportamiento al testigo con el mejor tratamiento.

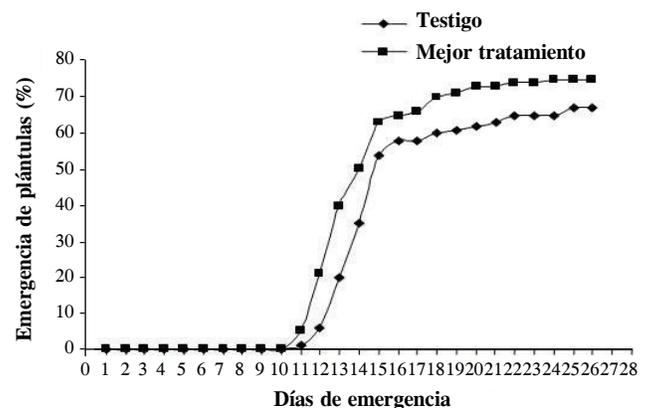


Figura 1. Cinética de emergencia diaria del mejor tratamiento (30 min de exposición a 560 mT) y del testigo sin irradiar.

DISCUSIÓN

Los resultados aquí obtenidos demuestran que la calidad fisiológica de la semilla de maíz puede mejorarse mediante la exposición a radiación electromagnética (combinación de inducción magnética y tiempo de exposición), mejoras que se expresan en velocidad de emergencia, porcentaje de establecimiento y peso seco de parte aérea. También muestra la dosis óptima de radiación electromagnética (B = 560 mT, tiempo de irradiación de 30 min, Dosis de 705.6 K J m⁻³ s⁻¹) que en este híbrido de maíz produce efectos de bioestimulación en el desempeño germinativo de la semilla, mientras que otras dosis pueden no tener efecto de bioestimulación (Cuadro 4). Es decir, el efecto depende de la intensidad de la inducción magnética y del tiempo de exposición a la irradiación, dependencia que no es lineal.

Al considerar la definición de la Asociación Oficial de Análisis de Semillas (AOSA, 1983) para el vigor, "propiedades de las semillas que determinan el potencial para una rápida y uniforme emergencia de plántulas y desarrollo de plántulas normales bajo un amplio rango de condiciones de campo", los resultados aquí obtenidos confirman que la radiación electromagnética es un método

viable para incrementar el vigor de la semilla, porque se traduce en incrementos en la velocidad de emergencia, porcentaje de establecimiento y peso seco de la parte aérea de las plántulas. Resultados similares fueron observados por Alexander y Doijode (1995), quienes lograron en semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) un incremento de 161 % en germinación con respecto al testigo, y de 127 % en germinación de cebolla, mediante estimulación con electromagnetos. Asimismo, en experimentos con semillas de otras variedades maíz expuestas a niveles de inducción magnética de 125 mT y 250 mT aplicados con imanes permanentes a distintos tiempos de exposición de campo magnético, observaron un incremento en altura y peso de la plántula (Flórez *et al.*, 2007). Es importante considerar que la semilla de maíz es un sistema complejo, de tal manera que cuando se aplica la estimulación magnética se deben tener en cuenta las condiciones específicas de la semilla por un lado, y por el otro las características de la fuente de radiación electromagnética para producir efectos de bioestimulación. Hernández *et al.* (2009) reportaron diferencias entre los patrones de comportamiento de variables evaluadas de vigor en tres diferentes genotipos de maíz (híbridos del ciclo agrícola 2006, 'CL-4 X CL-1', 'CL-13 X CL-1' y 'CL-12 X CL-11'), pues con los mismos parámetros de irradiación, esto es inducción magnética y tiempo de irradiación, hubo tres efectos nulo: positivo y negativo; eso indica que cada variedad puede comportarse de forma diferente a niveles similares de irradiación.

En un trabajo previo en el que probaron varias fuentes de irradiación aplicadas a la semilla antes de ser sembradas, entre ellas la luz láser, Hernández *et al.*, (2006) destacaron la importancia de los parámetros de irradiación y de la condición de semilla para encontrar efectos favorables en variables de vigor.

Al considerar el problema que tiene la industria semillera mexicana de producir semilla de bajo vigor, la técnica de radiación electromagnética es una opción para incrementar la calidad fisiológica de la semilla sin dañar al ambiente, bajo una perspectiva sistémica-transdisciplinaria.

CONCLUSIONES

La aplicación de radiación electromagnética a una dosis de $705.6 \text{ KJ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ (30 min de exposición a 560 mT) a semillas de maíz del híbrido 'CL-12 x CL-11', antes de la siembra, incrementa su calidad fisiológica medida a través de la velocidad de emergencia, porcentaje de establecimiento y peso seco de la parte aérea de la plántula.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional (IPN) por el apoyo económico otorgado a través de Coffa y EDI, así como a la Ing. Esther Ayala por la asistencia técnica prestada y a los trabajadores de campo de la Estación Experimental del Colegio de Postgraduados.

Cuadro 4. Medias de las variables medidas al cuarto día en el caso de VE y PE y al 17 d en el caso de PSA, en la prueba de vigor bajo condiciones microtúnel. Montecillo, México, 2007.

Tratamiento	B (mT)	T (min)	VE (Plántulas/d ⁻¹)	PE (%)	PSA (g)
1	160	30	0.59 bc	27 ebdac	1.78 ba
2	160	60	0.90 a	39 ba	2.25 ba
3	160	120	0.77 bac	34 bdac	2.26 ba
4	160	240	0.79 bac	35 bac	1.97 ba
5	160	360	0.76 bac	30 ebdac	1.79 ba
6	160	480	0.84 bac	31 bdac	1.95 ba
7	560	30	1.10 a	40 a	2.37 a
8	560	60	0.61 bc	22 edc	1.63 ba
9	560	120	0.66 bc	24 edc	1.79 ba
10	560	240	0.66 bc	26 ebdc	1.55 ba
11	560	360	0.44 c	17 e	1.32 b
12	560	480	0.59 bc	26 ebdc	1.7625 ba
Testigo	0	0	0.65 bc	21 ed	1.7350 ba
DHS			0.40	13.97	1.03

Medias con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). B = inducción magnética; DHS = diferencia honesta significativa; VE = velocidad de emergencia; PE = porcentaje de establecimiento de plántulas; y PSA = peso seco de la parte aérea.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander M P, S D Doijode (1995)** Electromagnetic field, a novel to increase germination and seedling vigour of conserved onion (*Allium cepa* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) seeds with low viability. Plant Genet. Resour. Newsletter 104:1-5.
- AOSA, Association of Official Seed Analysts (1983)** Seed Vigour Testing Handbook. AOSA Handbook 32:93-94.
- Artola A G, G Carrillo-Castañeda, G García de los Santos (2003)** Hydropriming: A strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. Seed Sci. Technol. 31:455-463.
- Atak C, O Emiroglu, S Alikamanoglu, A Rzakoulieva (2003)** Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merrill) tissue cultures. J. Cell Mol. Biol. 2:113-119.
- Bevilaqua A P G, L D Broch, C J Possenti, A F Villela (1996)** Posicao do fósforo e potássio na adubacao da semente e no crescimento de plantas de milho. Rev. Brasil. Agrocienca 2:87-92.
- Boe A A, D K Salunkhe (1963)** Effects of magnetic fields on tomato ripening. Nature 199:91-92.
- FAO, Food and Agriculture Organization (2007)** FAOSTAT (FAO Statistical Databases) Agriculture, Fisheries, Forestry, Nutrition. Rome, Italy. Disponible en <http://faostat.fao.org/default.aspx/>. (Noviembre 2007).
- Flórez M, M V Carbonell, E Martínez (2007)** Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effect on germination and early growth. Environ. Exp. Bot. 59:68-75.
- Galland P, A Pazur (2005)** Magnetoreception in plants. J. Plant Res. 118:371-389.
- Hampton J G, N M Carvalho, M Kruse, R Don, G Brodal, D Come, L O Copeland (2002)** Quality seed a factor for sustainable progress. Seed Sci. Technol. 30:463-475.
- Hernandez A C, C A Carballo, A Artola, A Michtchenko (2006)** Laser irradiation effects on maize seed field performance. Seed Sci. Technol. 34:193-197.
- Hernández A C, A Carballo, A Domínguez P (2007)** Effects produced by magnetic treatment to the maize seed. Tecnol. Quím. 4:115-117.
- Hernandez A C, A Domínguez P, A Carballo C, A Cruz O, R Ivanov, J L López B, J Pastor V M (2009)** Alternating magnetic field irradiation effects on three genotype maize seed field performance. Acta Agrophys. 14:7-17.
- Hirota N, J Nakagawa, K Kitazawa (1999)** Effects of a magnetic field on the germination of plants. J. Appl. Physics 85:5717-5719.
- Ikezoe Y, N Hirota, J Nakagawa, K Kitazawa (1998)** Making water levitate. Nature 393:749-750.
- ISTA, International Seed Testing Association (1999)** International rules for seed testing. Seed Sci. Technol. 27 (suppl.) 27:92.
- Maguire D J (1962)** Speed of germination, an aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Sci. 2:176-177.
- Martínez E, M V Carbonell, M. Flórez, J M Amaya, R Maqueda (2009)** Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. Internatl. Agrophysics 23:45-49.
- Mietchen D, J W Jakobi, H P Richter (2005)** Cortex reorganization of *Xenopus laevis* eggs in strong static magnetic fields. BioMagnetic Res. Technol. 1-6.
- Palmer J D (1963)** Organismic spatial response in very weak spatial magnetic fields. Nature 198:1061-1062.
- Pietruszewski S (2007)** Electromagnetic fields and electromagnetic radiation as non-invasive external simulations for seeds (selected methods and responses). Internatl. Agrophysics 21:95-100.
- Podleoeny J, S Pietruszewski, A Podleoena (2005)** Influence of magnetic stimulation of seeds on the formation of morphological features and yielding of the pea. Internatl. Agrophysics 19:61-68.
- Ponomarev O A, E E Fesenko (2000)** The properties of liquid water in electric and magnetic fields. Biofizika 45:389-398.
- Racuciu M, D Creanga, C Amoraripei (2007)** Biochemical changes induced by low frequency magnetic field exposure of vegetal organisms. Roma J. Physics 52:645-651.
- SAS (1999)** Statistical Analysis System for Windows. Release 8.01. SAS Institute Inc., Cary, N. C. USA.
- Shabrangi A, A Majd (2009)** Effect of magnetic fields on growth and antioxidant systems in agricultural plants. Progress in Electromagnetics Res. Symp. Beijing, China. 27:1142-1147.
- SIAP Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (2009)** Producción agrícola ciclo primavera-verano 2008. Maíz grano. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>. (Consultado en 2009)
- UTHSCSA (2002)** ImageTool. Version 3.1. The University of Texas Health Science Center at San Antonio Dental School. Disponible en: <http://www.uthscsa.edu/> (Mayo 2007).
- Vasilevsky G (2003)** Perspectives of the application of biophysical methods in sustainable agriculture. Bulgarian J. Plant Physiol. Special Issue: 179-186.
- Yano A, E Hidaka, K Fujiwara, M Limoto (2001)** Induction of primary root curvature in radish seedlings in a static magnetic field. Bioelectromagnetics 22:194-199.
- Zepeda B R, C A Carballo, G G Alcántar, L A Hernández, G A Hernández (2002)** Effect of foliar fertilization on yield and seed quality of corn single crosses. Rev. Fitotec. Mex. 25:419-426.