

Estudio de los efectos estimuladores del tratamiento magnético de semillas en especies de interés agrícola

¹Alfredo Socorro García, ¹Susana Pérez Talavera, ²Elvira Martínez, ²M. Victoria Carbonell, ²J.Manuel Amaya y ¹Eduardo Hernández.

¹Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” INIFAT Calle 2 esq. 1, S. de Las Vegas. Boyeros Ciudad Habana. Cuba. Teléfono: (53)-(7)-579010. email: fcanet@inifat.esihabana.cu

²Departamento de Física y Mecánica Aplicadas a la Ingeniería Agroforestal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid España. Teléfono: (34)-(91)-336 email: emartinez@fis.etsia.upm.cu

INTRODUCCIÓN

Los efectos estimuladores del tratamiento magnético de semillas se han venido aplicando desde hace varias décadas en diferentes países, incluyendo varias instituciones cubanas. En el INIFAT esta temática ha arrojado resultados en el incremento del porcentaje de germinación los cuales dependen no solo de los parámetros de exposición empleados (tiempo, inducción magnética, etc.), sino también de la especie y variedad utilizada (Socorro, 2003).

Aunque no existe una teoría que explica como ocurren los mecanismos de acción del campo magnético en los tejidos de la semilla, se ha obtenido que las plantas provenientes de semillas tratadas realizan una mayor absorción de agua y nutrientes y optimizan su actividad fotosintética (trabajos citados por Martínez y col., 1999). De igual modo se plantea que existen efectos sobre las componentes del rendimiento en plantas de trigo, que se manifiestan en incrementos de la masa de los granos por espiga, con respecto al control (Pietruszewski, 1993, 1996). Este trabajo tiene por objetivo estudiar los efectos estimuladores del tratamiento magnético de semillas de diferentes especies, bajo diferentes condiciones experimentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 3 especies vegetales: Girasol (*Helianthus annuus*) CV: Florasol, Maíz (*Zea mays*) CV: Cecilia y una variedad experimental de trigo (*Triticum aestivum*) de la Universidad Politécnica de Madrid. Los tratamientos fueron efectuados mediante imanes permanentes de material cerámico, contruidos por una firma comercial¹. Dichos imanes tenían forma cilíndrica con un orificio circular, con valores reportados por el fabricante de B=125 y B=250 mT de inducción magnética, en el sitio del orificio donde quedarían colocadas las semillas por medio de un rollo de papel de filtro. El extremo inferior del mismo se encontraba sumergido en agua de modo que las semillas pudieran embeberse. Los tiempos de exposición “ t_E ” empleados fueron: 1 minuto, 10 minutos, 20 minutos, 1 hora, 24 horas y un tratamiento crónico durante los diez días entre la siembra y la evaluación. Se emplearon 20 semillas en cada uno de los 5 rollos utilizados por tratamiento y control. El tiempo de exposición en cada caso, finaliza cuando se retiran los imanes del vaso y se deja sumergida la parte inferior del rollo, para así mantener un adecuado régimen hídrico durante la germinación y el crecimiento. Como Indicador fisiológico se utilizó la longitud total de la planta (tallo+raíz) a los 10 días, cuyo porcentaje respecto al control se expresó en función de la dosis “D”, que se define según (Pietruszewski, 1996).

$$D = \frac{B^2}{2\mu_0} t_E \quad (1)$$

Donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío. Las medias obtenidas se procesaron y compararon las a través del test no paramétrico de Dunn mediante un software estadístico (InStat, 1990-1993). Se aplicó un análisis computarizado de regresión lineal a la dependencia entre los logaritmos neperianos de p y D.

En condiciones de laboratorio en Cuba se realizaron ensayos de germinación en semillas de Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.); CV: Acarigua. Los valores de tiempo de exposición empleados fueron de 30, 60, 90 y 120 segundos a B=100 y 200 mT. Los experimentos se realizaron en placas petri con 40 semillas por placa y tres réplicas. Las mediciones se efectuaron en la segunda semana posterior a la siembra. Se empleó el

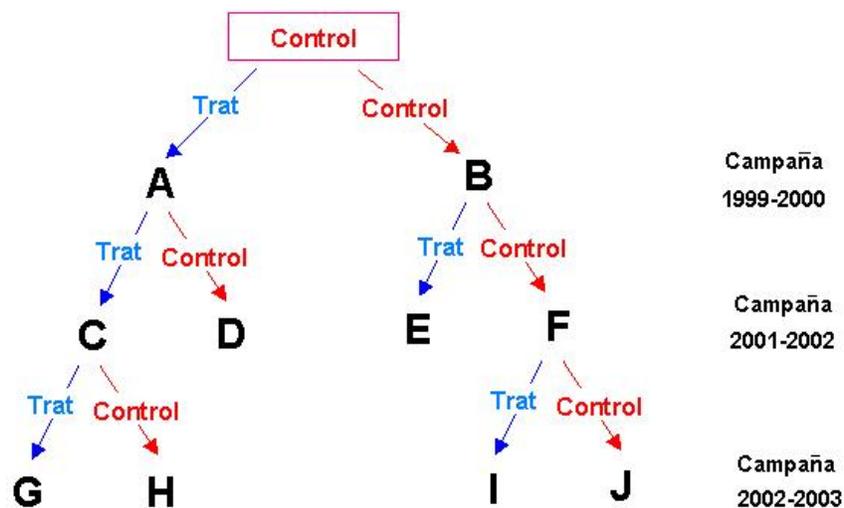
¹ Firma Comercial: REDCAI S.A. Dirección: San Ernesto 10, 28002 Madrid. Fax 915630483.

test no paramétrico de Duncan para comparar las medias de los tratamientos y el control.

Para estudios en condiciones de campo fue seleccionado el trigo CV: INIFAT-RM26 y el tratamiento de 100 mT de inducción magnética durante un minuto de exposición. El criterio para seleccionar el tratamiento y la variedad se basó en pruebas pilotos realizadas en condiciones de laboratorio (Socorro y col., 2002; Socorro, 2003). La siembra se realizó en un suelo ferralítico rojo, en un diseño de cuadrado latino de 4x4 donde en cada uno de los 4 bloques se sembraron 200 semillas en grupos de dos a una distancia de 30 cm. En la figura 1 se muestra un esquema que representa la aplicación de los tratamientos durante las tres campañas.

Los grupos A y B corresponden al tratamiento y al control, respectivamente, durante la primera campaña. A partir de cada uno de estos grupos, para la segunda campaña se seleccionaron respectivos grupos de semillas sin tratar (grupos D y F) y grupos tratados (C y E) de modo que se obtuvieron las cuatro variantes experimentales de la segunda campaña. Para la tercera campaña se repitió la selección y tratamiento, a partir de los grupos C y F.

Figura 1. Esquema que muestra los tratamientos y controles empleados durante las tres campañas de siembra de trigo.



Los indicadores evaluados al finalizar el ciclo vegetativo fueron la altura del plantón, el número de hijos fértiles, la longitud de las espigas, el número de granos por espiga, la masa fresca de los granos por espiga y la masa de 1000 semillas a 12% de humedad.

Las mediciones se realizaron seleccionando en cada bloque 10 plántones al azar en las cuatro réplicas. Como estadígrafo se utilizó el test no paramétrico de Duncan. Las comparaciones realizadas analizaron los siguientes aspectos:

1. **Repetibilidad de los efectos del tratamiento magnético de las semillas.** Para ello se compararon las parejas de grupos A-B, E-F e I-J. Las comparaciones se corresponden al mismo tratamiento en tres campañas diferentes.
2. **Efecto acumulativo del tratamiento.** Para ello se compararon los efectos relativos entre las parejas de grupos A-B, C-F y G-J. En este caso se analizan los efectos del tratamiento sobre semillas que provienen de un tratamiento en la campaña anterior, respecto a semillas controles.
3. **Efecto Residual del tratamiento.** Se comparan las parejas de grupos. D-F y H-J. Ello tiene como objetivo estudiar si en una generación permanecen los efectos propiciados por el tratamiento de la campaña anterior, sin aplicar de nuevo dicho tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se recogen las longitudes de las plantas provenientes de semillas tratadas (LPT) y las plantas controles (LPC), a los 10 días de la siembra. Como puede observarse, en los tres cultivos se pudo comprobar que el tratamiento crónico durante los 10 días ofreció mayor efecto estimulante, llegando hasta valores de $p = 215, 184$ y 131% para girasol, maíz y trigo respectivamente. En la mayoría de los valores del tiempo de exposición, fundamentalmente el crónico, se apreció que una inducción de 250 mT, provocó un mayor efecto estimulante significativo, con respecto a 125 mT.

En la figura 1 se representan los valores del logaritmo neperiano de p , con respecto al logaritmo neperiano de la dosis. En las tres especies se puede observar una dependencia lineal entre los parámetros representados en ambos ejes. Las rectas de pendiente K obtenidas reflejan un comportamiento que se puede expresar como:

$$\ln p = \ln b + K \ln D \quad (2)$$

O bien:
$$p = bD^K \quad (3)$$

Tabla 1. Longitud de la planta “LP”, tanto de las provenientes de semillas tratadas “LPT”, como las provenientes del control “LPC” y los valores como porcentaje respecto al control “p” , para cada valor de tiempo de exposición y la dosis “D”.

(a) B=125 mT; (b) B=250 mT.

(a)

Tiempo exp.	Dosis (J.s.m ⁻³)	Girasol		Maíz		Trigo	
		LP (mm)	p (%)	LP (mm)	p (%)	LP (mm)	p (%)
1 min.	3.730. 10 ⁵	48 ± 2	92 ± 6	38 ± 2	88 ± 6	205 ± 2	106 ± 2
10 min.	3.730. 10 ⁶	43 ± 2	83 ± 6	42 ± 2	98 ± 6	206 ± 3	**107±2
20 min.	7.4604 .10 ⁶	39 ± 2	75 ± 6	39 ± 2	91 ± 6	210 ± 3	***109±2
1 hora	2.2381. 10 ⁷	45 ± 2	87 ± 6	37 ± 2	86 ± 6	202 ± 3	105 ± 2
24 hrs	5.3715. 10 ⁸	44 ± 2	85 ± 6	40 ± 2	93 ± 6	192 ± 3	99 ± 2
Crónico	5.3715. 10 ⁹	82 ± 3	***158±10	58 ± 3	***135 ± 9	207 ± 3	107 ± 2
Control	-	52 ± 6	100	43 ± 2	100	193 ± 3	100

(b)

Tiempo exp.	Dosis (J.s.m ⁻³)	Girasol		Maíz		Trigo	
		LP (mm)	p (%)	LP (mm)	p (%)	LP (mm)	p (%)
1 min.	1.4921. 10 ⁶	44 ± 2	107 ± 7	45 ± 2	105 ± 7	215 ± 2	***111±2
10 min.	1.4921. 10 ⁷	44 ± 2	107 ± 7	45 ± 2	105 ± 7	195 ± 3	101 ± 2
20 min.	2.9842. 10 ⁷	44 ± 2	107 ± 7	43 ± 2	100 ± 7	208 ± 4	**107±2
1 hora	8.9525 . 10 ⁷	46 ± 2	112 ± 7	42 ± 2	95 ± 7	216 ± 3	***111±2
24 hrs	2.1486 . 10 ⁹	49 ± 2	120 ± 7	52 ± 2	121 ± 7	207 ± 4	*107±2
Crónico	2.1486 .10 ¹⁰	88 ± 3	***215±12	79 ± 3	***184 ± 11	254 ± 3	***131±2
Control	-	41 ± 2	100	43 ± 2	100	194 ± 2	100

Efectos estimulantes significativos: * $\alpha=0.05$; ** $\alpha=0.01$; * $\alpha=0.001$**

Donde la pendiente K la denominamos coeficiente de magnetosensibilidad, mientras que b es una constante cuyo logaritmo Neperiano representa el intercepto de las rectas con el eje y. En el análisis de regresión lineal efectuado (ver tabla 2), se obtuvo que los coeficientes de magnetosensibilidad del girasol (*Helianthus annuus*) y el maíz (*Zea mays*) son significativamente diferentes de cero, y en el caso del trigo (*Triticum aestivum*), la diferencia es no significativa. No obstante, en esta especie los puntos tienen una mayor aproximación a la recta de la ecuación (2), al poseer una menor suma de cuadrados de los residuos.

Figura 1: Dependencia lineal entre los respectivos logaritmos neperianos de la dosis de tratamiento magnético “D” y del porcentaje respecto al control de la longitud de la planta a los 10 días “p”. ($y = \ln p$; $x = \ln D$. La dosis se expresa en unidades del sistema internacional: $J \cdot s \cdot m^{-3}$).

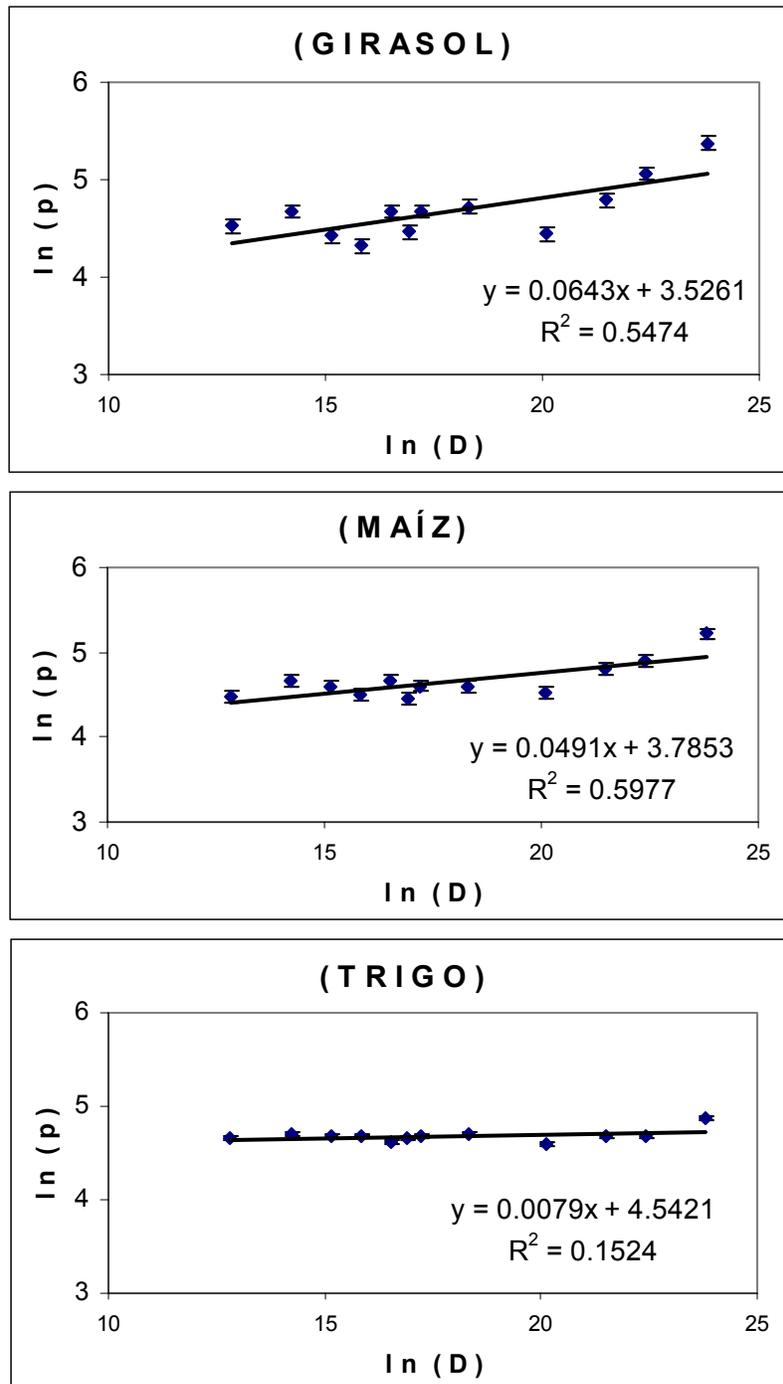


Tabla 2. Análisis de regresión lineal y procesamiento de errores para las rectas obtenidas en cada una de las especies vegetales.

Regresión		GIRASOL	MAIZ	TRIGO
Pendiente	K	$6.4 \cdot 10^{-2}$	$4.9 \cdot 10^{-2}$	$0.8 \cdot 10^{-2}$
Coeficiente de Determinación	R ²	0.5474	0.5977	0.1524
Desviación Estándar de los residuos	DER	0.1987	0.1426	0.0352
Significación	α	**$\alpha < 0.01$	**$\alpha < 0.01$	*$\alpha > 0.05$
Errores		GIRASOL	MAIZ	TRIGO
Error de dispersión	δ_K	0.0140369	0.01062128	0.002280535
Error experimental	e_K	0.0009597	0.00073755	0.000033761
Error total	E_K	$1.4 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$0.2 \cdot 10^{-2}$

**** Muy Significativo, * No significativo.**

La mayoría de los trabajos realizados en esta temática plantean que las especies no responden de igual forma al estímulo (Picazo y col., 1999), causado por la propia susceptibilidad de cada cultivo a un campo magnético externo. Los valores de K obtenidos experimentalmente en la tabla 2, arrojan una significativa diferencia entre el trigo y el resto de las especies (girasol y maíz), no existiendo entre estas dos últimas una diferencia significativa. De acuerdo con la ecuación (3), la especie que posea un mayor valor de K, tendrá un mayor incremento de p ante un determinado incremento de la dosis D.

Tabla 3. Porcentaje de Germinación de las semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en función del tiempo de exposición (30, 60, 90 y 120 seg.) y la inducción magnética B (100 y 200 mT).

B (mT)	t _E = 30 seg.		t _E = 60 seg.		t _E = 90 seg.		t _E = 120 seg.		Control
	VA	VR	VA	VR	VA	VR	VA	VR	
100	88 ± 1	94*	97 ± 2	103	93 ± 2	99	92 ± 2	98	94 ± 2
200	98 ± 2	108*	97 ± 1	107*	98 ± 1	108*	97 ± 1	107*	91 ± 2

*diferencia significativa para $\alpha=0.05$). VA: Valores absolutos. VR: Valores como porcentaje respecto al control. Los efectos estimulantes significativos están marcados con letras negras.

Las rectas obtenidas en la figura 1 se ajustan para el intervalo de dosis empleado en este experimento, correspondiente al rango de los parámetros de tratamiento magnético estacionario, utilizados por otros autores (1 minuto – crónico de 10 días) y (100-250 mT). Sin embargo para dosis mucho mayores (del orden de 10^{12} J.s.m⁻³) es posible que el comportamiento de la relación dosis-efecto no se ajuste a la ecuación (3), ya que en general, los sistemas biológicos tienen una capacidad limitada para utilizar la energía proveniente del medio externo. Así mismo, para dosis menores que 10^4 J.s.m⁻³ no se puede asegurar que la dependencia entre $\ln(p)$ y $\ln(D)$ se ajuste a la representada en la figura 1.

Para el porcentaje de germinación de semillas de ajonjolí (ver tabla 3) de la variedad cubana “Acarigua” tratadas a 100 y 200 mT, se apreció que este último valor de inducción magnética resultó estimulador de este indicador biológico, a diferencia de 100 mT que no provocó tal efecto, resultado similar al obtenido en las variedades españolas. En este caso el tiempo de exposición no incidió en la respuestas de las semillas.

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en los indicadores evaluados en condiciones de campo para las tres campañas en sus valores absolutos, tanto para los tratamientos como para los controles, en los seis indicadores fisiológicos evaluados. Para analizar la repetibilidad de los efectos del tratamiento magnético de las semillas expresamos los datos de la tabla 4 como porcentaje relativo de A respecto a B, E respecto a F e I respecto a J (ver tabla 5).

Se puede apreciar que en las tres campañas se repitieron efectos estimulantes significativos para la biomasa de los granos cosechados, cuantificados por los indicadores masa fresca de los granos por espiga y masa de 1000 semillas a 12% de humedad. Para el indicador altura del plantón, aunque solo se observaron tendencias al incremento en las dos primeras campañas sin diferencia significativa, en la tercera campaña se apreció un incremento significativo. El número de hijos fértiles fue significativamente estimulado en las dos últimas campañas, aunque en la primera campaña, el incremento observado no fue significativo. Para la longitud y el número de granos de cada espiga, no se observaron diferencias significativas de forma repetitiva.

Tabla 4. Indicadores fisiológicos evaluados al finalizar el ciclo vegetativo. AP:Altura del plantón, NHF: Hijos fértiles, LE: Longitud de la espiga, NGE: Granos por espiga, MGE: Masa de los granos por espiga y M₁₀₀₀: Masa de 1000 semillas a 12% de humedad.

1999-2000	A	B		
AP (cm)	85.4 ± 0.8	84 ± 2		
NHF	8.1 ± 0.5	7.6 ± 0.4		
LE (cm)	7.97 ± 0.07	7.68 ± 0.08		
NGE	30.8 ± 0.3	30.6 ± 0.4		
MGE (g)	1.23 ± 0.01	1.079 ± 0.016		
M ₁₀₀₀ (g)	43.6 ± 0.1	37.5 ± 0.1		
2001-2002	C	D	E	F
AP (cm)	66.2 ± 1.0	63.3 ± 1.1	65.6 ± 0.9	63.1 ± 1.5
NHF	9.5 ± 0.6	8.5 ± 0.5	10.4 ± 0.7	8.7 ± 0.5
LE (cm)	7.9 ± 1.0	7.69 ± 0.06	7.76 ± 0.05	7.83 ± 0.06
NGE	33.9 ± 0.6	30.9 ± 0.5	32.8 ± 0.5	32.6 ± 0.8
MGE (g)	1.36 ± 0.33	1.2 ± 0.02	1.29 ± 0.02	1.22 ± 0.03
M ₁₀₀₀ (g)	41.7 ± 0.7	40.3 ± 0.8	42.2 ± 0.5	40.3 ± 0.6
2002-2003	G	H	I	J
AP (cm)	103 ± 2	98 ± 2	100 ± 2	94 ± 2
NHF	14.8 ± 1.1	12.1 ± 0.9	15.1 ± 0.9	10.9 ± 0.9
LE (cm)	7.72 ± 0.10	8.13 ± 0.14	7.99 ± 0.09	7.8 ± 0.07
NGE	34.3 ± 0.8	30.3 ± 1.4	35.2 ± 0.7	32.0 ± 0.8
MGE (g)	1.49 ± 0.04	1.31 ± 0.06	1.46 ± 0.04	1.31 ± 0.04
M ₁₀₀₀ (g)	50.5 ± 0.9	48.6 ± 0.7	47.9 ± 0.7	45.8 ± 0.5

Tabla 5. Efectos estimulantes respecto al control observados en las tres campañas.

***Diferencia significativa (Test de Duncan $\alpha=0.05$)**

Indicador	1999-2000 A / B (%)	2001-2002 E / F (%)	2002-2003 I / J (%)
AP (cm)	101.7	104.1	106.4*
NHF	106.6	119.5*	138.5*
LE (cm)	103.8	99.1	102.4
NGE	100.7	100.6	110.0*
MGE (g)	114.0*	105.7*	111.5*
M ₁₀₀₀ (g)	116.3*	104.7*	104.6*

Aún se conoce muy poco sobre los mecanismos mediante los cuales, los efectos sobre los tejidos de las semillas, pueden propagarse hacia las células hijas, durante los correspondientes procesos de división celular que tienen lugar en la planta durante su ciclo de vida. Por ello, una parte considerable de los trabajos recogidos en la literatura analizan tales efectos solo en las primeras semanas posteriores a la siembra. Estudios realizados permiten correlacionar parámetros fisiológicos observables en un plazo de tiempo relativamente largo, posterior no solo a la germinación, sino también al crecimiento y desarrollo de la planta. Por ejemplo Pietruszewski (1993, 1996), ha corroborado la existencia de modificaciones en la longitud y masa de las espigas y la masa fresca de semillas, así como incrementos en el contenido de albúmina y almidón en dos variedades de trigo, sometidas 30 y 100 mT.

En la tabla 6 se muestran los valores expresados como porcentaje respecto al control, relacionados con los efectos acumulativos del tratamiento magnético de semillas, sobre la segunda y tercera generación.

Tabla 6. Efectos acumulativos respecto al control observados en las tres campañas.

***Diferencia significativa (Test de Duncan $\alpha=0.05$)**

Indicador	1999-2000 A / B (%)	2001-2002 C / F (%)	2002-2003 G / J (%)
AP (cm)	101.7	104.9*	109.6*
NHF	106.6	109.2	135.8*
LE (cm)	103.8	100.9	99.0
NGE	100.7	104.0	107.2*
MGE (g)	114.0*	111.5*	113.7*
M₁₀₀₀ (g)	116.3*	103.5*	110.3*

Como puede apreciarse, en la primera campaña solo existían dos indicadores (masa fresca de los granos por espiga y masa de 1000 semillas a 12% de humedad), estimulados significativamente, sin embargo a medida que se repetían los tratamientos durante las generaciones siguientes, se observó que la altura del plantón aumentaba su valor respecto al control. En la segunda campaña hubo una tendencia al incremento, aunque no significativa, mientras que en la tercera campaña se observó una clara estimulación de este indicador de forma significativa, hasta un 9.6% por encima del

control. Algo similar ocurre para los indicadores número de hijos fértiles y número de granos por espiga. Para el resto de los indicadores no se apreciaron efecto de acumulación, ya que en el caso de la longitud de la espiga no manifestó efecto alguno en ninguno de los tres tratamientos, mientras que la masa de los granos en las tres campañas fue estimulada en las tres ocasiones con valores relativamente cercanos (14, 11 y 13% por encima del control). Estos efectos acumulativos podrían justificarse debido a que los embriones de las semillas provenientes de un tratamiento en la campaña anterior pudieran poseer un mayor poder germinativo y así ser más susceptibles a utilizar la energía proveniente del campo magnético para obtener un mayor desarrollo vegetativo.

Por último, en la tabla 7 se muestran los indicadores respecto al control, de las semillas no tratadas provenientes de tratamientos en la campaña anterior.

Tabla 7. Efectos residuales del tratamiento magnético de semillas respecto al control observados en la segunda y tercera campaña.

***Diferencia significativa (Test de Duncan $\alpha=0.05$)**

Indicador	2001-2002 D / F (%)	2002-2003 H / J (%)
AP (cm)	100.3	104.2
NHF	97.7	111.0
LE (cm)	98.2	104.2
NGE	94.8	94.7
MGE (g)	98.4	100
M ₁₀₀₀ (g)	100	106.1*

Aunque se manifiesta en algunos casos, una tendencia al estímulo, el estadígrafo marcó que no existen diferencias significativas entre estos grupos respecto a sus controles. Este resultado nos demuestra que las plantas provenientes de semillas no tratadas, aunque posean un ascendiente biológico tratado (a 100 mT durante un minuto de forma estacionaria), no experimentan diferencias en las componentes del rendimiento respecto a las plantas controles, provenientes de controles.

En el caso de la masa de 1000 granos a 12% de humedad, en la tercera campaña se apreció un incremento residual significativo del 6.1%, el cual se puede justificar debido

a que las semillas del grupo H, provienen de dos generaciones tratadas, y por tanto con cierto efecto acumulativo, a diferencia del obtenido en el grupo D de la segunda campaña que proviene de una sola generación tratada.

La no existencia de efectos residuales concuerda con algunas hipótesis que plantean que el tratamiento magnético de semillas no provoca cambios genéticos, y que los efectos sobre el rendimiento se deben a modificaciones de la actividad fisiológica como: mayor absorción de agua y nutrientes, mayor eficiencia de la actividad fotosintética y biosíntesis de proteínas (Bhatnagar, D. ,1978) lo cual repercute sobre el crecimiento y posteriormente sobre el rendimiento.

CONCLUSIONES

El incremento del valor de la inducción magnética dio lugar a un aumento en los índices biológicos estudiados (longitud de la planta y porcentaje de germinación), bajo condiciones de laboratorio. Se pudo obtener una dependencia lineal entre los logaritmos Neperianos de la longitud de la planta expresada como porcentaje respecto al control y la dosis, donde se apreció que no todas las especies poseen la misma sensibilidad a ser estimuladas por medio del campo magnético.

En condiciones de campo se apreció una notable repetibilidad en los efectos estimulantes en la masa fresca de los granos cosechados de trigo, en las tres campañas efectuadas. Así mismo se obtuvieron efectos acumulativos sobre varias generaciones provenientes del mismo tratamiento mientras que no se observaron efectos residuales en plantas que proceden de un ascendiente biológico tratado.

BIBLIOGRAFÍA

Bhatnagar, D. (1978). **Some aspects of pre-germination exposure of wheat seeds to magnetic field II. Effects on some physiological process.** Nature, 185 pp 14-22.

Martínez, E. ; Carbonell, M. V. y Duarte, C. (1999). **Efecto del tratamiento magnético en la germinación del arroz (*Oriza sativa* L.).** Alimentaria. (Julio-agosto):95-99.

Picazo, M. L. ; Martínez, E. ; Carbonell, V. ; Raya, A. ; Amaya, J.M. and Bardasano, J. L. (1999). **Inhibition in the growth of thistles (*Cynara cardunculus* L.) and lentils**

(Lens culinaris L.) due to chronic exposure to 50-Hz 15 μ T electromagnetic field. *Electro and Magnetobiology*, 18(2):147-156.

Pietruszewski, S. (1993). **Effects of magnetic seed treatment on yield of wheat.** *Seed Science & Technology*. (21):621-626.

Pietruszewski, S. (1996). **Effects of magnetic bioestimulation of wheat seeds on germination, yield and proteins.** *Agrophysics*, 18-2 (10):51-55.

Socorro, A. Carbonell, V. ; Martínez, E. ; Pérez, S. y Amaya, J.M. (2002). **Tratamiento magnético de semillas de trigo (*Triticum aestivum*) como técnica de estimulación del crecimiento.** *Alimentaria* Octubre. 337 Pp 167-170.

Socorro, A. (2003). **Factores que modifican la acción estimuladora de los campos magnéticos sobre semillas de especies vegetales de interés agrícola.** Tesis para optar por el título de Maestro en Biología Vegetal (Fisiología Vegetal). Facultad de Biología. Universidad de La Habana.