

Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.)

Alexander Álvarez Fonseca¹, Licet Chávez Suárez¹, Ramiro Ramírez Fernández¹,
Wilfredo Estrada Prado¹, Yusdelys Estrada Labrada¹, Alisbechy Maldonado Rodríguez²

¹Centro de Investigaciones, Servicios y Tecnologías Ambientales de Granma, Instituto de Investigaciones Agropecuarias
"Jorge Dimitrov" Carretera vía Manzanillo km 16 1/2, Bayamo, Granma. Cuba

²Policlínico Docente "Guillermo González Polanco", Guisa, Granma. Cuba

alexanderf@dimitrov.cu

Resumen

Se estudió la influencia del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de pimiento California Wonder. Las semillas se irradiaron con un equipo de rayos X de baja potencia (11.47 Gy/min) con las dosis 5, 10, 20 y 30 Gy, empleando semillas no irradiadas como control. Se evaluó la altura de las plántulas (mm), longitud de la raíz principal (mm), diámetro del tallo (mm), diámetro medio polar de los frutos (mm), diámetro medio ecuatorial de los frutos (mm), masa promedio de los frutos (g) y rendimiento por planta (kg.planta⁻¹). Los resultados mostraron un incremento significativo ($p \leq 0.001$) en los indicadores: altura de las plantas (15%), longitud de la raíz (12%), diámetro del tallo (7%), diámetro medio ecuatorial (47%), masa promedio de los frutos (16%) y rendimiento por plantas (107%) respecto al control.

Palabras clave: rayos X, producciones, semillas, dosis de radiación, pimiento, indicadores

Effect of seed treatment using low doses of X-rays in peppers plants (*Capsicum annuum* L.)

Abstract

The influence of seed treatment with X-rays radiation on the growth and yield of peppers plants of the California Wonder variety was studied. The seeds were irradiated with X- rays irradiation source of low potency (11.47 Gy/min), with doses of 5, 10, 20 y 30 Gy, using untreated seeds as controls. Plant height (mm), root length (mm), stem diameter (mm), polar average diameter (mm) ecuatorial mean diameter (mm), mean fruit mass (g) and yield per plant (kg.plant⁻¹) were evaluated. The results showed a significant improvement ($p \leq 0.001$) in the indicators of plants height (15%), root length (12%), stem diameter (7%), equatorial mean diameter (47%), mean fruit mass (16%) and yield per plant (107%), compared to control.

Key words: X radiation, yields, seeds, radiation doses, capsicum, indicators

Introducción

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es una solanácea originaria de América del Sur. Alcanza una producción mundial de 6955 t anuales y un rendimiento promedio 4.58 t.ha⁻¹. En Cuba constituye una de las principales hortalizas tanto por el área que ocupa nacionalmente como por sus niveles de producción y es un renglón principal en la exportación. Se cultiva en todas las provincias, fundamentalmente en La Habana, Pinar del Río y Villa Clara [1].

En la actualidad la tendencia en la agricultura es encontrar alternativas que garanticen incremento en el rendimiento de los cultivos y disminuyan el uso de fertilizantes, plaguicidas y reguladores de crecimiento,

que significan un elevado riesgo de contaminación ambiental [2]. En este sentido los métodos físicos estimulantes constituyen una alternativa viable. Todo ello se relaciona con el hecho de que los organismos vivos han desarrollado mecanismos de adaptación a bajas dosis de irradiación que pueden conducir a la estimulación de ciertas funciones vitales del organismo, proceso denominado radioestimulación. Los principales métodos utilizados en el tratamiento estimulante de semillas son los campos electromagnéticos, el ultrasonido, el láser y las bajas dosis de radiaciones ionizantes [3-7]. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X en el incremento del crecimiento y el rendimiento agrícola en plantas de pimiento.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en la Cooperativa de Producción Agropecuaria "Luis Ramírez López" en la localidad de "Los Horneros", municipio Guisa, provincia Granma, perteneciente a la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños, en el periodo comprendido entre noviembre del 2011 hasta febrero del 2012, considerado óptimo para la producción de hortalizas. Se emplearon semillas del cultivo California Wonder a las cuales se le equilibró la humedad en un intervalo entre un 12-13%, lo cual se logró colocándolas en una desecadora que contenía una solución de glicerina al 70% [8]. Las semillas fueron tratadas en una fuente para terapia superficial modelo RT-100 marca Phillips, con un régimen de trabajo de 55 kV y 10 mA, utilizando un filtro de aluminio de 0.75 mm y un colimador de 7 x 7 cm para garantizar la irradiación homogénea de las semillas y una potencia de dosis de 11.47 Gy/min, con las dosis de 5, 10 20 y 30 Gy, seleccionados a partir de un estudio de radiosensibilidad. La irradiación homogénea para cada dosis se garantizó distribuyendo las semillas durante el tratamiento de forma uniforme, de tal manera que la superficie que formen no supere los dos milímetros de espesor. Las dosis se establecieron a partir de una tabla de valores según los parámetros técnicos de la fuente (voltaje, amperaje, filtros, colimador) y la duración del tratamiento en segundos. Se utilizaron semillas no irradiadas como control y un total de 80 semillas por cada tratamiento.

Las plántulas procedentes de los semilleros se trasplantaron cuando reunieron los requisitos necesarios establecidos en el instructivo técnico [9] en canteros de 1.5 m de ancho y 50 m de largo, con dos hileras a lo largo del cantero sin la aplicación de productos químicos. Se estableció un marco de plantación de 0.40 x 0.40 m y las variantes experimentales se ajustaron a un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron los indicadores: altura de las plántulas (mm), longitud de la raíz principal, diámetro del tallo (mm), diámetro medio polar y ecuatorial de los frutos (mm), número de frutos por planta (u), masa promedio de los frutos (g) y rendimiento por planta (kg.planta^{-1}).

Se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad de los datos y la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianzas [10]. Los datos se procesaron por un análisis de varianza de clasificación doble y al existir diferencias significativas se aplicó la prueba de rangos múltiples de Newman-Keuls [11]. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete Statistic V 8.0 para Windows [12].

Se realizó la valoración económica tomando como área de cálculo la siembra de una hectárea del cultivo. Para ello se tuvo en cuenta que el precio de venta de 1 kg de pimiento es de 8.70 pesos y que el costo de producción de una hectárea es de 3640 pesos para las semillas no tratadas y de 3645 pesos para las semillas tratadas. Se tuvieron en cuenta los indicadores económicos que se exponen a continuación [12]:

$$VP = R \cdot VT$$

Donde: VP= Valor de la producción

R = Rendimiento en t.ha^{-1}

VT = Valor o precio del producto

$$C/P = CP/VP$$

Donde: C/P = Costo por peso en \$

CP = Costo de producción en \$

VP = Valor de la producción en \$

$$B = VP - CP$$

Donde: B = Beneficio neto o ganancia de la producción en \$

VP = Valor de la producción en \$

CP = Costo de producción en peso

$$B/C = B/CP$$

Donde: B/C = Relación beneficio = Costo

B = Beneficio neto en \$

CP = Costo de producción en \$

Resultados y Discusión

En los tres indicadores del crecimiento evaluados se observó un efecto estimulante significativo en las dosis aplicadas; excepto en el indicador diámetro del tallo, donde la dosis de 30 Gy no mostró diferencias significativas. La altura de las plantas mostró valores de estimulación significativos ($p \leq 0.001$) en relación con el control en todas las dosis evaluadas (Figura 1), observándose los mejores valores con la dosis de 30 Gy que incrementó este indicador en un 15%.

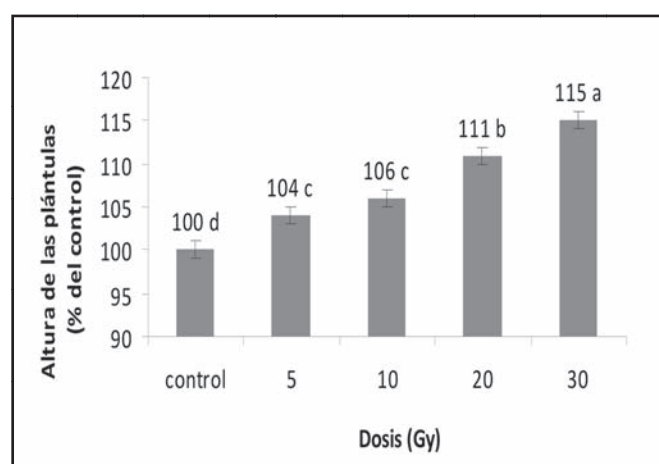


Figura 1. Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X sobre la altura de las plántulas en el cultivo del pimiento

CV: 5.09% (coeficiente de variación)

DS: 5.59 (desviación estándar)

a,b,c,d letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.001$) según la prueba de intervalos múltiples de Newman Keuls (Statsoft. 2009).

En el indicador longitud de la raíz principal (Figura 2) se observó una estimulación significativa ($p \leq 0.001$) en todos los tratamientos aplicados en relación con el control, las mejores dosis fueron 20 y 30 Gy con un incremento en este indicador de 11 y 12% respectivamente.

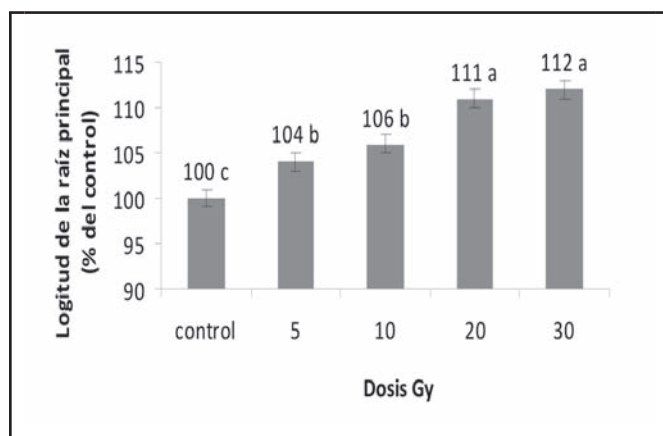


Figura 2. Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X sobre la longitud de la raíz principal en el cultivo del pimiento

CV: 4.74% (coeficiente de variación)

DS: 5.17 (desviación estándar)

a,b,c,d letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.001$) según la prueba de intervalos múltiples de Newman Keuls (Statsoft. 2009).

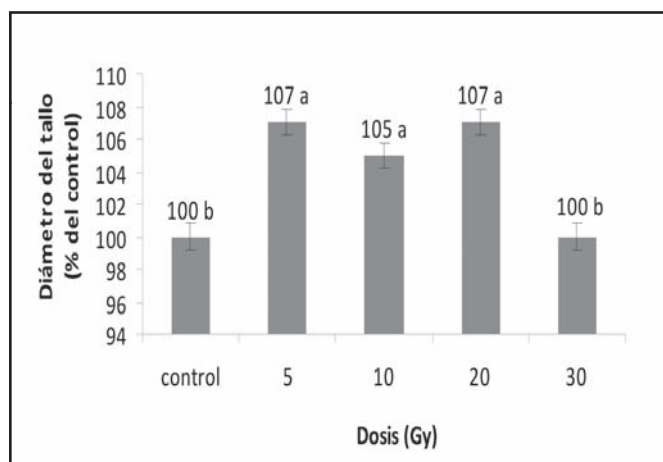


Figura 3. Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X sobre el diámetro del tallo en el cultivo del pimiento

CV: 3.93% (coeficiente de variación)

DS: 4.22 (desviación estándar)

a,b,c,d letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.001$) según la prueba de intervalos múltiples de Newman Keuls (Statsoft. 2009).

En el diámetro del tallo (Figura 3) se constató la existencia de valores significativos en la zona de estimulación comprendida entre 5-20 Gy. Las dosis de 5, 10 y 20 Gy mostraron entre 5-7% en relación con el control. En la dosis 30 Gy no se observó diferencias significativas entre el tratamiento y el control. En relación con este indicador, es preciso señalar que todas las plantas irradiadas en el intervalo de 5-20 Gy, superaron los 3 mm en el grosor del tallo durante el trasplante, lo cual se considera un requisito indispensable para garantizar un adecuado establecimiento del cultivo [7].

Resultados similares se obtuvieron al evaluar el comportamiento del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X en el crecimiento de cuatro cultivos de tomate con incrementos significativos en la altura de las plántulas en relación con el control: INCA 9-1 (25%), Mallac 10 (15%), Campbell 28 (25%) y Lignon (40%) [13].

En el cultivo de tomate híbrido FA-180 se obtuvo un comportamiento análogo, con incrementos significati-

vos en la altura de las plántulas con valores máximos de estimulación de 15%, en la longitud de la raíz 37% y el diámetro del tallo 23% en relación con el control [14].

Este comportamiento en los indicadores de crecimiento se puede atribuir a que las bajas dosis de radiaciones ionizantes actúan como mecanismo disparador o impulsor (trigger), que intensifica la actividad general de las enzimas hidrolíticas y provoca un incremento de la velocidad de conversión de los sustratos respiratorios en pequeñas moléculas, a partir de las cuales se forman los nuevos constituyentes celulares que dan origen a la joven plántula [14,15].

Al respecto, se ha relacionado el efecto estimulante de las bajas dosis de radiación con la activación de varias enzimas como la polifenoloxidasas, catalasas, peroxidasas y esterasas, las cuales conllevan a la formación de sustancias fisiológicamente activas que a bajas concentraciones aceleran la división celular conjuntamente con la morfogénesis, en las células, de importantes orgánulos como las mitocondrias y los cloroplastos [16,2].

Por otro lado, existen evidencias que indican que la irradiación a bajas dosis es esencial en la vida de los organismos, incluyendo las plantas y que los radicales libres, iones y moléculas excitadas que se forman por su efecto contribuyen a una mayor eficiencia en la utilización de las vías bioquímico-metabólicas, las cuales se reflejan en el crecimiento y desarrollo de las plantas [14].

Los resultados mostraron que el tratamiento de las semillas con bajas dosis de rayos X provocó un efecto estimulante significativo ($p \leq 0.001$) en el rendimiento y los componentes evaluados en el cultivo de pimiento California Wonder (Tabla 1).

El indicador diámetro medio polar de los frutos mostró diferencias significativas ($p \leq 0.001$) en relación con el control en las dosis de 5, 20 y 30 Gy. El mejor comportamiento se manifestó en las dosis de 5 y 20 Gy con incrementos de 58% y 53% respectivamente. En el caso del diámetro medio ecuatorial de los frutos la mejor dosis estimulante fue la de 20 Gy con un incremento de 47% en relación con el control.

El número de frutos por plantas mostró en todos los tratamientos diferencias significativas con respecto al control ($p \leq 0.001$). Las mejores dosis fueron 5 y 20 Gy con incremento de 72 y 66% respectivamente con respecto al control.

También la masa promedio de los frutos experimentó incrementos significativos ($p \leq 0.001$) en todas las dosis de rayos X aplicadas, con valores máximos de estimulación de 16% en las plantas provenientes de las semillas tratadas con dosis de 5 Gy.

En el rendimiento por planta se constató una respuesta significativa ($p \leq 0.001$) en todos los tratamientos aplicados en relación con el control; el mejor comportamiento se logró con las dosis de 5 y 20 Gy con incrementos de 107 y 87% respectivamente con respecto al control.

Otros autores constataron valores de estimulación en el rendimiento agrícola de diferentes cultivos hortícolas y

Tabla 1. Efecto del tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X sobre el rendimiento y algunos de sus componentes en el cultivo del pimiento

Dosis (Gy)	DMP		DME		NFP		MPF		RPP	
	mm	%	mm	%	U	%	g	%	kg.p ⁻¹	%
0	64 c	-	51.2 c	-	5.0 d	-	30.8 d	-	1.53 d	-
5	101.2 a	158	67.5 ab	132	8.6 a	172	35.7 a	116	3.12 a	207
10	71.5 bc	112	50.0 c	98	7.0 b	140	33.4 c	108	2.36 b	153
20	95.7 a	153	75.5 a	147	8.3 a	166	34.2 b	111	2.82 a	187
30	80.7 b	126	58.7 bc	115	6.0 c	120	33.3 c	108	2.00 c	133
CV%	19.52		19.56		20.91		4.94		25.5	
DS	16.13		11.85		1.46		1.65		0.06	
ES	± 1.77***		± 1.75***		± 0.07***		± 0.77***		± 0.03***	

***p ≤ 0.001

a b c d letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de intervalos múltiples de Newman Keuls (Statsoft. 2009).

DMP: diámetro medio polar de los frutos

DME: diámetro medio ecuatorial de los frutos

NFP: número de frutos por plantas

PF: peso de los frutos

RPP: rendimiento por plantas

CV: coeficiente de variación

DS: desviación estándar

ES: error estándar

granos con el empleo del láser de baja potencia. Así, en tomate se estimuló el rendimiento de 20–24%, en pimiento superior a 13%, en pepino hasta 15%, en cebolla al 15,5% y en frijol un 27% en relación con el control [16–18].

El efecto estimulante producido por las bajas dosis de rayos X en el incremento del rendimiento y los componentes evaluados se explica mediante los cambios que producen la acción directa e indirecta de las radiaciones ionizantes en el organismo vegetal. La primera está relacionada con la excitación que producen las radiaciones ionizantes en su paso por las semillas, que estimulan su metabolismo y favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que de manera indirecta se refleja en el rendimiento y la calidad de los frutos como han indicado [19]. Se plantea que en la acción indirecta es donde se produce la interacción de los productos primarios con las macromoléculas no afectadas, formándose peróxidos orgánicos y la ocurrencia de reacciones de oxidación que provocan la aparición de nuevos compuestos químicos como los ginones. Estos son un complejo de sustancias biológicamente activas, cuyo concepto se ha generalizado a una serie de metabolitos comunes o poco comunes que se acumulan en el organismo por efecto de la irradiación y que a bajas concentraciones estimulan el metabolismo general de las plantas, incrementándose el rendimiento y la calidad de las cosechas [20].

El cultivo de plantas de pimiento California Wonder tratadas con rayos X generaron un efecto económico positivo, lo cual está avalado por los indicadores beneficio/costo y costo/peso. Los mejores resultados correspondieron a los tratamientos de 5 y 20 Gy (Tabla 2).

Estos elementos son suficientes para que se considere válido, desde el punto de vista económico, la factibilidad del tratamiento de semillas de pimiento con bajas dosis de rayos X, para incrementar los rendimientos y la calidad de las cosechas dentro de la política de agricultura sostenible (Figura 4).

Tabla 2. Valoración económica de la aplicación de bajas dosis de rayos X en la producción de pimiento

Dosis (Gy)	VP (\$)	R (kg/ha)	C/P (\$)	B (\$)	B/C
0	8151.9	937	0.45	4511.9	1.3
5	16 851.9	1937	0.22	12756	3.7
10	12 501.9	1437	0.29	8861.9	2.6
20	15 225	1750	0.24	11765	3.4
30	10 875	1250	0.33	7415	2.1

VP: valor de la producción

R: rendimiento

C/P: costo por peso

B: beneficio

B/C: relación beneficio costo



Figura 4. Efecto del tratamiento de pimientos con bajas dosis de rayos X

Conclusiones

El tratamiento de semillas con bajas dosis de rayos X mostró un efecto estimulante significativo en los indicadores del crecimiento y rendimiento de las plantas de pimiento. La dosis 5 Gy fue la más efectiva en el incremento del rendimiento, la cual pudiera ser de utilidad para su aplicación extensiva en el Sistema Nacional de Agricultura Urbana y Suburbana

Referencias bibliográficas

- [1]. AGUILAR C. Efecto del tratamiento de semillas con radiación láser de baja potencia en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) [tesis en opción al título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad de Granma, 2012. p. 33.
- [2]. ÁLVAREZ A, RAMÍREZ R, CHÁVEZ L, CAMEJO Y. Efectos del tratamiento de semillas con láser de baja potencia en un híbrido de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) [artículo en línea]. Revista electrónica Granma Ciencia. 2011; 15(2). <http://www.grciencia.granma.inf.cu/2011_15_n2_a2.html> [consulta: febrero 2013]
- [3]. RAMÍREZ R, GONZÁLEZ LM, CAMEJO Y, et. al. Estudio de radiosensibilidad en plantas de tomate procedentes de semillas tratadas con bajas dosis de rayos X. Cultivos Tropicales. 2006; 27(1): 63-67.
- [4]. ALADJADJIYAN A. The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. Journal Central European Agricultura. 2007; 8(3): 369-380.
- [5]. ÁLVAREZ A. Efecto del tratamiento de semillas con láser de baja potencia en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) [tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agropecuario]. Universidad de Granma, 2010. 30 p.
- [6]. DE SOUZA A, GARCÍA D, SUEIRO L, et. al. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. Bioelectromagnetics. 2006; 27(4): 247-257.
- [7]. ÁLVAREZ A, RAMÍREZ R, CHÁVEZ L, et. al. Efectos del tratamiento de semillas con láser de baja potencia sobre el crecimiento y rendimiento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). ITEA. 2011b; 107(4): 260-269.
- [8]. PÉREZ TALAVERA S. Estudio de la radiosensibilidad de variedades de especies de importancia agrícola cultivados en Cuba [tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana: INIFAT, 1988. 148 p.
- [9]. INIFAT. Manual técnico de organopónicos y huertos intensivos. Ministerio de la Agricultura, 2000. 145 p.
- [10]. YANDELL J. Practical Data Analysis for Designed Experiments. Chapman & Hall Press, 1997.
- [11]. STELL RGD, TORRIE JH. Principles and procedures: a biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill Interamericana de México S.A, 1992.
- [12]. StatSoft. STATISTICA for Windows. Release 8.0. User's guide. Tulsa, Inc., 2009.
- [13]. RAMÍREZ R. Efecto del tratamiento de semillas con dosis estimulantes de rayos X en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [tesis presentada en opción al Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. La Habana: INCA, 2006. 130 p.
- [14]. ÁLVAREZ A, CHÁVEZ L, RAMÍREZ R, et. al. Indicadores fisiológicos en plantas de *Solanum lycopersicum* L., procedente de semillas irradiadas con rayos X. Biotecnología Vegetal. 2012; 12(3): 173-177.
- [15]. CHEN YP, LIU YJ, WANG XL, et. al. Effect of microwave and He-Ne laser on enzyme activity and biophoton emission of *Isatis indigotica*. J. Integrat. Plant Biol. 2005; 47(7): 849-855.
- [16]. CWINTAL M, OLSZEWSKI J. Influence of pre-sowing laser stimulation of seeds on photosynthesis and transpiration intensity and on yielding of alfalfa. Acta Agrophysica. 2007; 9(2): 345-352.
- [17]. VASILEVSKI IG, BOSEV D. Results of the effect of the laser light on some vegetables. Journal of International Society for Horticultural Science. 2009; 15(3): 21-28.
- [18]. WILCZEK M, FORDONSKI G. Influence of pre-sowing laser stimulation of seeds on photosynthesis and transpiration intensity and on yielding of red clover. Acta Agrophysica. 2007; 9(2): 517-524.
- [19]. FILEK W, KOSCIELNIK J, GRZESIAK S. The effect of seed irradiation on growth and photosynthesis of field bean plants (*Vicia faba* L.) and nitrogenase activity of root nodules. Journal of Agronomy and Crop Science. 2000; 185(4): 229-233.
- [20]. GERASKIN SA. Concept of biological effect of low dose radiation on cells. Radiation Biology Radioecology. 1995; 35(5): 571-580.

Recibido: 4 de marzo de 2013

Aceptado: 25 de abril de 2013