



Tecnura

ISSN: 0123-921X

tecnura@udistrital.edu.co

Universidad Distrital Francisco José de

Caldas

Colombia

Armesto Arenas, Alexander; Angarita, Wilson; Lobo Jácome, Ramón
Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz

Tecnura, vol. 19, núm. 45, julio-septiembre, 2015, pp. 65-73

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257040047006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz

Electromagnetic radiation effects on germination of corn

Alexander Armesto Arenas*, Wilson Angarita**, Ramón Lobo Jácome***

Fecha de recepción: 12 de octubre de 2014

Fecha de aceptación: 6 de abril de 2015

Como citar: Armesto Arenas, A., Angarita, W., & Lobo Jácome, R. (2015). Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación del maíz. *Revista Tecnura*, 19(45), 65-73. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a05

RESUMEN

En este artículo se evaluó el efecto de radiaciones electromagnéticas sobre la germinación del maíz *Zea mays*, semilla normalmente cultivada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, Colombia, y cuyo nombre vulgar está descrito como maíz pullita. Se hicieron tres tratamientos, uno con frecuencias de 945 MHz (Megahertz), otros de 440 MHz y la testigo, cada una de estas con tres repeticiones. Dichas emisiones de onda se hicieron con antenas de media onda, situadas a una distancia de 37 centímetros del sustrato donde fueron sembradas las semillas. La radiación electromagnética fue emitida las 24 horas del día, durante ocho días, y los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas: a los ocho días se observó un porcentaje de germinación de 92%, 80% y 50%, y a los 15 días de 98, 95 y 84%, para los tratamientos con emisiones de onda de 945 MHz, 440 MHz y las testigos, respectivamente. En este mismo orden se observó un bajo porcentaje de cenizas en comparación con las testigos, con unos resultados de 12,69, 16,17 y 18,45%. Con respecto a la altura, se en los primeros días se encontró una ganancia de longitud para las plantas sometidas a

la más alta frecuencia, seguido de las más baja frecuencia y la testigo. Finalmente, en el último día se notó una mayor altura para las de menor frecuencia, seguido de la más alta frecuencia y la testigo.

Palabras clave: electromagnetismo, frecuencia, germinación, *Zea mays*.

ABSTRACT

This work evaluated the electromagnetic effects on germination of corn *Zea mays*, seed usually cultivated in the municipality of Ocaña (North Santander, Colombia), whose common name is described as pullita corn. Three treatments were carried, one with 945 MHz (Megahertz frequencies), other with 440 MHz and a witness one, all of them with three repetitions. Such wave emissions were made with half wave antennas, located at a distance of 37 cm from the substrate to which the seeds were planted. The electromagnetic radiation emitted was 24 hours a day, for 8 days and the results showed statistically significant differences; observing after those eight days a germination rate of 92%, 80% and 50%, and past 15 days 98%, 95% and 84%, for treatments with wave emissions of 945 MHz, 440 MHz and the

* Ingeniero ambiental, candidato a magíster en Ingeniería Ambiental, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia.
Contacto: aarmestoa@upso.edu.co

** Ingeniero ambiental. Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia. Contacto: wangaritac@upso.edu.co

*** Ingeniero químico. Docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ocaña, Colombia. Contacto: rjloboj@upso.edu.co

witness ones, respectively. Likewise, low percentage of ash was observed in comparison to witnesses, having results of 12,69%, 16,17% and 18,45%. In terms of height, it was observed in the early days, a gain in length for plants subjected to the highest frequencies, followed by the lowest frequency and

the witness. For the last day a greater height was noted for lower frequency, followed by the highest frequency and the witness.

Keywords: electromagnetism, frequency, germination, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

La latencia de las semillas tiene su causa en factores externos, ambientales (agua, luz, temperatura, etc.) o en factores internos, propios de ellas (testa dura o impermeable, embrión inmaduro, etc.). Este período puede prolongarse artificialmente, negando a las semillas las condiciones para su germinación. (Ramírez, Romero, & Henríquez, 1980). Sin embargo, aun en las mejores condiciones de almacenamiento, las semillas sufren una progresiva pérdida de viabilidad, lo cual obliga a realizar controles periódicos para proceder a la regeneración de las muestras si la germinación es menor al 80-85% (Cardoso Almeida, Pita Villamil, & Gomes de Gouveia, 2000). 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 la 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 doce tratamientos de campos magnéticos, con intensidades de 160 y 560 mT (militeslas) 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 KJ m⁻³ s⁻¹, respectivamente). Con la dosis de 705,6 KJ 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 (Domínguez Pacheco, et al., 2010).

Otros estudios demuestran que la irradiación de semillas con láseres de baja intensidad dan lugar a incremento en la biomasa de las plantas (Stoyanova & Ivanova, 2000). Un estudio sobre los efectos que la acción de un campo magnético artificial estacionario tiene sobre la germinación de semillas de guisante ha determinado y cuantificado el posible aumento en la velocidad germinativa de semillas de guisante sometidas a la acción de un campo magnético estacionario de 125 mT y 250 mT durante diferentes tiempos de exposición (1 minuto, 10 minutos, 20 minutos, 1 hora, 24 horas y exposición crónica). Los parámetros utilizados han sido: porcentaje de semillas germinadas (Gmáx), tiempo medio de germinación (TMG) y tiempo necesario para que germine el 1, 10, 25, 50, 75 y 90% de las semillas utilizadas en cada tratamiento (T1, T10, T25, T50, T75 y T90). Del análisis de los datos se puede concluir que la velocidad de germinación de las semillas >sometidas a la acción del campo magnético es mayor que la de las semillas no tratadas (García Rebollar & Pérez Cabal, 2008). En la India se realizó un experimento para determinar el efecto de la baja dosis de radiación gamma sobre la germinación, el crecimiento, el nitrógeno y la fijación de carbono del cacahuate, en los resultados se encontró que la germinación de semillas se aumentó en un 10-25% a las dosis más bajas de hasta 5 Gy, mientras que la mejora en vigor de la planta en el

el mismo intervalo de dosis fue mucho más alta (22-84%) que las plantas no irradiadas (Singhal, Venu, Ahuja, Singh, & Kumar Gupta, 2014). La exposición a campos electromagnéticos de 445 MHz y diferentes intensidades de campo en el fríjol mungo *Vigna radiata L.* e *Ipomoea aquatica Ipomoea aquatica forsk.* En las etapas de crecimiento muestran mejoras en la germinación (Prakob, Jinapang, Wongwattananard, Islam, & Kirawanich, 2010). Semillas de garbanzo *Cicer arietinum L.* fueron expuestas en lotes a los campos magnéticos estáticos de fuerza de 0 a 250 mT en pasos de 50 mT durante 1-4 h en pasos de 1 h para todos los campos. Los resultados mostraron que la aplicación del campo magnético aumenta el rendimiento de semillas en términos de la germinación de laboratorio, velocidad de germinación, longitud de las plántulas y el peso seco de plántulas significativamente en comparación con el control no expuesto (Vashistha & Nagarajan, 2008). Plantas de tomate *Lycopersicon esculentum Mill VFN8* expuestas a campos electromagnéticos de 900 MHz, 5 V m⁻¹ durante un período corto (10 min) muestra que poco después de la exposición, las plantas perciben la radiación como un estímulo nocivo (Roux, et al., 2008). Semillas de girasol sometidas a un campo magnético estacionario de 125 mT y 250 mT tienen un aumento en la velocidad de germinación, que se pone de manifiesto en una reducción del tiempo requerido para que germine un determinado porcentaje de semillas; este efecto es más pronunciado cuando el tratamiento se realiza de forma crónica (dosis D6 y D12) (Carbonell Padrino, Martínez Ramírez, Flórez García, & Amaya García de la Escosura, 2005).

Hoy en día se debe reconocer que las empresas agrícolas, en su afán de obtener producciones de una manera más limpia y rápida, están al tanto de cualquier avance tecnológico para favorecerse en tal problemática. Pues bien, uno de esos tantos inconvenientes de siembra y obtención de cosechas es lograr una rápida germinación sin tener ningún efecto en los procesos metabólicos de la planta. Así, aprovechando la energía electromagnética como opción, el objetivo de este trabajo

consistió en acelerar la germinación de las plantas de maíz *Zea mays* por medio de ondas electromagnéticas de entre 945 MHz y 440 MHz, con potencia de cinco watts (5w), emitidas por antenas de media onda, teniendo en cuenta de forma hipotética que las ondas electromagnéticas aceleran la emergencia o germinación de las plantas y que en su efecto dicho campo electromagnético de mayor frecuencia tiene mejor influencia en su respectivo desarrollo. Todo esto con el fin de buscar nuevas alternativas de producción agrícola sustentable y sostenible en pro de un ambiente sano.

METODOLOGÍA

El ensayo fue hecho en el vivero de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña en Norte de Santander, Colombia. Se utilizaron 100 semillas de maíz *Zea mays* por réplica, con un porcentaje de germinación promedio del 85% y con una masa promedio de 34 gramos, homogeneizadas por tamaño y escogidas al azar, con un total de 900 unidades. En su siembra se utilizó sustrato a base de arenilla y semilleros de plástico, ubicados dentro de jaulas de mallas metálicas a 35 cm de la antena.

Para la respectiva radiación electromagnética se utilizaron dos circuitos transmisores de 5w de potencia y dos antenas de media onda con diferente frecuencia (tabla 1).

Tabla 1. Descripción de la radiación de las antenas

f MHz	I w/m ²	Campo magnético A/m
945	7,5 x 10 ⁻³	4,46 x 10 ⁻³
440	7,1 x 10 ⁻³	4,33 x 10 ⁻³
Amperio/metro (A/m); Intensidad (I);		

Fuente: elaboración propia.

La intensidad y el campo magnético promedio fueron medidos a 35 centímetros de distancia de la fuente.

A partir de la siembra los cultivos empezaron a ser irradiados, durante ocho días las 24 horas del día.

La temperatura promedio del sitio de prueba fue de 21 °C, con una temperatura máxima de 27 °C y una mínima de 17 °C. Dicho experimento fue realizado a cielo abierto y el monitoreo de intensidad de potencia en el respectivo sitio, teniendo en cuenta las diferentes bandas de alta frecuencia, fue de $7,5 \times 10^{-4}$ microwatts/cm² ($\mu\text{w}/\text{cm}^2$).

Todas las mediciones se hicieron con un analizador de espectro de alta frecuencia (1MHz – 9,5 GHz) Marca Spectran 60105 – Aaronia.

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar (DCA) con tres tratamientos: uno con emisiones de onda de 945 MHz, otro con 440 MHz y un último sin ningún tipo de radiación electromagnética. Para cada una de estas pruebas se hicieron tres repeticiones.

Para los análisis del comportamiento de las variables (tabla 2) se utilizó el programa Minitab 15. Este es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina el uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos.

Tabla 2. Variables dependientes e independientes

Variable dependiente	Variable independiente
Germinación	Tiempo(días)
Altura de las plantas	Frecuencia (MHz)
Color	Intensidad (w/cm ²)
Cenizas	Campo magnético (T)

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Con respecto a los resultados se observa que hay mayor porcentaje de germinación en las plantas que presentan mayor frecuencia de radiación (tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje de germinación por tratamiento y total de plantas germinadas. Día 8

Tratamiento	Porcentaje de plantas germinadas			Promedio	TOTAL
	r1	r2	r3		
945	89	98	88	92	275
440	83	76	80	80	239
000	53	54	43	50	150
	TOTAL				664

Fuente: elaboración propia.

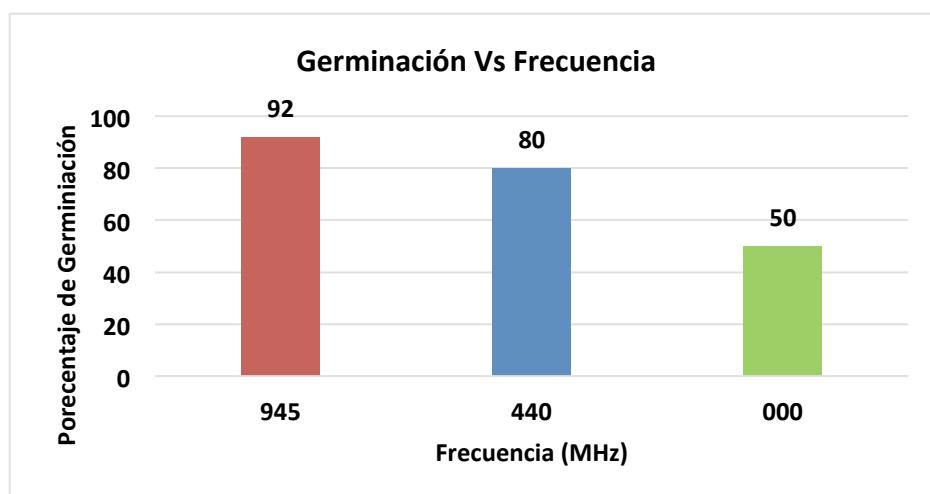


Figura 1. Porcentaje de germinación vs frecuencia. Día 8

Fuente: elaboración propia.

El tratamiento 945 MHz supera en 12 y 42% de germinación al tratamiento 440 y 000 MHz (figura 1), y el tratamiento 440 MHz supera en 30% de germinación al tratamiento 000 MHz.

En estos resultados se muestran diferencias significativas entre los tratamientos (tabla 4): las semillas sometidas a radiaciones electromagnéticas de 945 MHz lograron mayor germinación en comparación con las sometidas a 440 MHz y las testigos, de igual forma las semillas sometidas a frecuencia más baja estaban por encima de las pruebas que no fueron sometidas a radiación (testigo).

Tabla 4. Análisis de varianza (Germinación día 8)

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	aleatorio	3	0. 440. 945
Análisis de varianza			
Fuente	Gl	Sc	Cm (F) (P)
Tratamiento	2	2760,2	1380,1 51,97 0,000
Error	6	159,3	26,6
Total	8	2919,6	
Varianza (S) = 5,15321, Coeficiente de determinación (R^2) = 94,54%, R^2 (ajustado) = 92,72%			
Distribución = F Significancia = (P) Cuadrados medios= Cm, Suma de cuadrados= Sc Grados de libertad =Gl			

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que a partir del día ocho las plantas dejaron de ser irradiadas, el día quince (tabla 5) se volvió a hacer un análisis de germinación y se encontró que las plantas sometidas a mayor frecuencia tuvieron mayor porcentaje de germinación.

Tabla 5. Porcentaje de germinación por tratamiento y total de plantas germinadas. Día 15

Tratamiento	Repeticiones			Promedio	TOTAL
	r1	r2	r3		
945	98	98	99	98	295
440	98	95	93	95	286
000	87	83	81	84	251
	TOTAL				832

Fuente: elaboración propia

En este análisis se aprecian diferencias significativas en los respectivos tratamientos (tabla 6), pues el porcentaje alto de germinación se mantiene en las semillas sometidas a la más alta frecuencia, seguido de la prueba a baja frecuencia y la testigo.

Tabla 6. Análisis de Varianza (Germinación día 15)

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	aleatorio	3	0. 440. 945
Análisis de varianza			
Fuente	Gl	Sc	Cm F P
Tratamiento	2	360,22	180,11 33,7 0,001
Error	6	32	5,33
Total	8	392,22	
$S = 2,3094$, $R^2 = 91,84\%$, R^2 (ajustado) = 89,12%			

Fuente: elaboración propia.

El tratamiento 945 MHz supera en 3% y 14% de germinación al tratamiento 440 y 000 MHz (figura 2). Y el tratamiento 440 MHz supera en 11% de germinación al tratamiento 000 MHz.

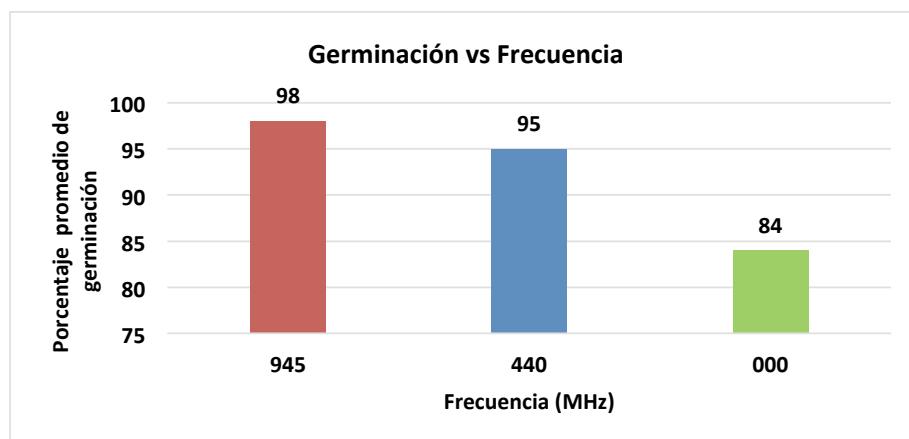


Figura 2. Porcentaje de germinación vs. frecuencia. Día 15

Fuente: elaboración Propia

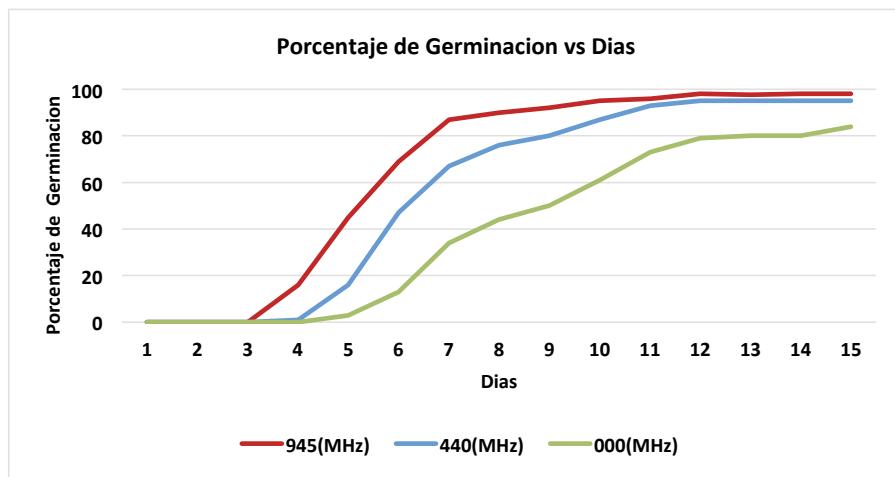


Figura 3. Porcentaje de germinación por día. Día 0 hasta día 15.

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la velocidad de la germinación, se observó que las plantas sometidas a 945 MHz comenzaron primero el proceso de germinación, seguidas de la que recibieron el tratamiento de 440 MHz y 000 MHz.

El tratamiento que presentó mayor porcentaje de plantas anormales fue el testigo (tabla 7), y el tratamiento que menos presentó estas características fue el de 440 MHz. Para determinar esto se tuvo en cuenta que las plantas anormales formaron parte del número de plantas que germinaron.

Tabla 7. Porcentaje de plantas anormales y que no terminaron su germinación

Tratamiento	% Anormales	% No Germinaron
945	3	2
440	1	5
000	6	16

Fuente: Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se puede observar que las semillas sometidas a ondas electromagnéticas de 945 MHz sobrepasaron el nivel de germinación normal de la planta cuando es cultivada en condiciones normales, teniendo en cuenta que la semillas sometidas a la más alta frecuencia mostraron un color amarillento en el noveno día.

Acerca de la altura en centímetros (cm) promedio que alcanzaron las plantas a los quince días (tabla 8), se observó que las plantas que fueron sometidas a las respectivas radiaciones electromagnéticas estuvieron por encima del tratamiento testigo.

Tabla 8. Altura promedio por tratamiento

Tratamiento	Altura promedio (cm)			
	Repeticiones			Promedio
	r1	r2	r3	
945	11,45	13,48	11,20	12,04
440	12,90	12,94	13,03	12,96
000	9,4	10,83	10,99	10,40

Fuente: elaboración propia.

Las plantas sometidas a 440 MHz superaron en altura (figura 4) a las plantas de 945 MHz y 000

MHz en 0,92 cm y 2,56 cm, respectivamente. El tratamiento de 945 MHz superó en altura a las testigos en 1,64 cm.

Con respecto a la altura, se apreciaron diferencias significativas en los respectivos tratamientos (tabla 9): al final de la prueba ganaron mayor altura las plantas sometidas a una radiación de 440 MHz, seguidas de las plantas del tratamiento de 945 MHz y 000 MHz. De esto hay que tener en cuenta que por su rápida germinación, las plantas que empezaron ganando altura fueron las sometidas a 945 MHz.

Tabla 9. Análisis de varianza (altura alcanzada el día 15)

Factor	Tipo		Niveles		Valores	
Tratamiento	aleatorio		3		0, 440, 945	
Análisis de varianza						
Fuente	Gl	SC	Cm	F	P	
Tratamiento	2	10,0154	5,0077	6,44	0,032	
Error	6	4,6690	0,7782			
Total	8	14,6844				
$S = 0,882138$, $R^2 = 68,20\%$, R^2 (ajustado) = 57,61%						

Fuente: elaboración propia.

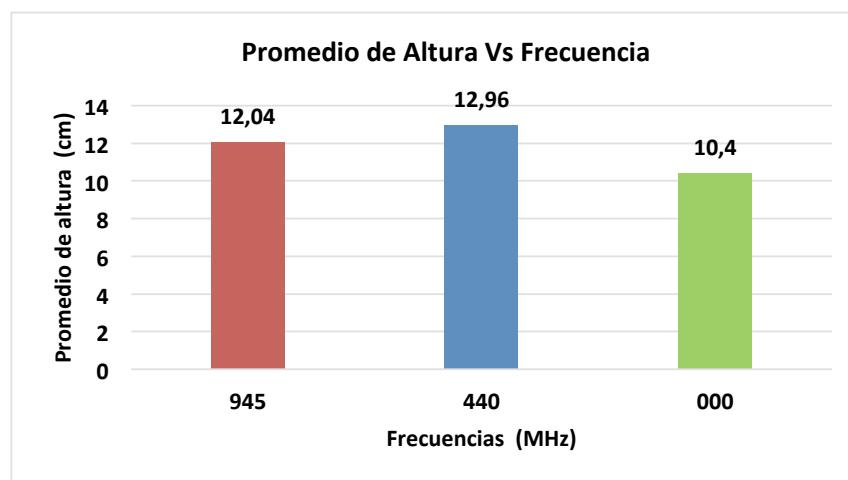


Figura 4. Altura promedio alcanzada el día 15.

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al análisis del porcentaje de ceniza (tabla 10), se encontró que las plantas sometidas a 945 y 440MHz tuvieron un 5.7597% y 2.2768 % menos ceniza que las plantas testigo.

Tabla 10. Porcentaje promedio de ceniza

Tratamiento	Porcentaje de ceniza			
	Repeticiones			
	r1	r2	r3	% Promedio
945	13,7221	13,0619	11,2869	12,6903
440	16,6198	13,2126	18,6873	16,1732
000	19,6015	16,0728	19,6785	18,45

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados muestran que las plantas sometidas a 945 MHz y 440 MHz describieron poca diferencia significativa con la testigo (tabla 11), aunque cabe anotar que las plantas sometidas a la mayor frecuencia electromagnética tuvieron menor porcentaje de ceniza.

Tabla 11. Análisis de varianza. Porcentaje de Ceniza

FACTOR	TIPO	NIVELES	VALORES
Tratamiento	Aleatorio	3	0. 440. 945
Análisis de varianza			
Fuente	Gl	Sc	Cm
Tratamiento	2	50,091	25,046
Error	6	26,646	4,441
Total	8	76,737	
$S = 2,10738$, $R^2 = 65,28\%$, R^2 (ajustado) = 53,70%			

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Cuanta mayor fue la frecuencia de radiación electromagnética a la que estuvieron sometidas las plantas de maíz, mayor fue la rapidez de su germinación y menor su cenizas. Las plantas de maíz sometidas a radiación electromagnética superaron en número de plantas totales germinadas a las testigos, es decir, la radiación mejoró el porcentaje

de germinación de las plantas. Se observó que las plantas sometidas a alta frecuencia de radiación (945 MHz) perdieron altura, mostraron un color amarillento en las hojas y debilitamiento en su textura, lo cual conllevó un estrés a dichas plantas en relación con el aumento de frecuencia.

FINANCIAMIENTO

El proyecto fue financiado por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y orientado desde el Plan de Estudio de Ingeniería Ambiental.

REFERENCIAS

- Carbonell Padrino, M. V., Martínez Ramírez, E., Flórez García, M., & Amaya García de la Escosura, J. M. (2005). Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125mT y 250 mT en la germinación de semillas de girasol. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*(3), 34-39. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231117496006.pdf>
- Cardoso Almeida, F. d., Pita Villamil, J. M., & Gomes de Gouveia, J. P. (2000). Efecto de la crioconservación sobre la germinación de semillas de leguminosas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 2, 67-71. Retrieved 2015, from <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev21/Art218.pdf>
- Domínguez Pacheco, A., Hernández Aguilar, C., Cruz Orea, A., Carballo Carballo, A., Zepada Bautista, R., & Martínez Ortiz, E. (2010). Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 183-188. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/45492504_SEMILLA_DE_MAZ_BAJO_LA_INFLUENCIA_DE_IRRADIACION_DE_CAMPOS_ELECTROMAGNTICOS
- García Rebollar, P., & Pérez Cabal, M. d. (2008). Efecto de la exposición a campos magnéticos estacionarios de 125mt y 250 mt en la germinación de semillas de guisante. . *I Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica* (págs. 93-96). Madrid- España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la

- Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/6568/1/Actas_I_Congreso_Estudiantes.pdf
- Prakob, P., Jinapang, P., Wongwattananard, P., Islam, N., & Kirawanich, P. (2010). Growth characteristics of mung beans and water convolvulus exposed to 425-MHz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 31(7), 519. doi:10.1002/bem.20584.
- Ramírez, C., Romero, M., & Henríquez, O. (1980). Estudios de germinación en semillas de mirtaceas chilenas. *Bosque*, 3(2), 106-114. Obtenido de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v3n2/art06.pdf>
- Roux, D., Vian, A., Girard, S., Paladian, F., Davies, E., & Ledoigt, G. (2008). High frequency (900 MHz) low amplitude (5 V m^{-1}) electromagnetic field: a genuine environmental stimulus that affects transcription, translation, calcium and energy charge in tomato. *Planta*, 227(4), 91. doi:10.1007/s00425-007-0664-2
- Singhal, R., Venu, B., Ahuja, S., Singh, B., & Kumar Gupta, V. (2014). Very low dose gamma irradiation stimulates gaseous exchange and carboxylation efficiency, but inhibits vascular sap flow in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *International Journal of Radiation Biology*, 90 (2), 179-186. doi:doi:10.3109/09553002.2014.868615
- Stoyanova, S., & Ivanova, R. (2000). Effect of presowing irradiation of seed from winter rapeseed by helium-neon laser on the growth, yield and quality of the green mass. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 16, 75-83. Obtenido de <http://cabdirect.org/abstracts/20003017917.html>
- Vashistha, A., & Nagarajan, S. (2008). Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Bioelectromagnetic*, 29(7), 8. doi:10.1002/bem.20426.



