

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA MAGNETIZADA EN EL RENDIMIENTO
Y SUS COMPONENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS*
L.)

Tesis

Que presenta AURELIO MORALES RIVERA

como requisito parcial para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila.

Diciembre 2022

EFFECTO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA MAGNETIZADA EN EL RENDIMIENTO
Y SUS COMPONENTES EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS*
L.)

Tesis

Elaborada por AURELIO MORALES RIVERA como requisito parcial para obtener
el grado de Doctor en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría



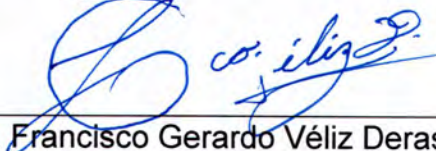
Dr. Anselmo González Torres
Director de Tesis



Dr. Pedro Cano Ríos
Asesor



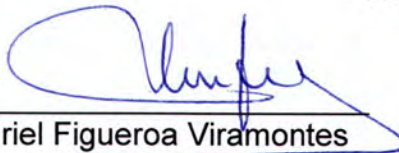
Dra. Leticia R. Gaytán Alemán
Asesor



Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras
Asesor



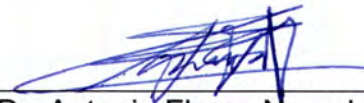
Dra. Norma Rodríguez Dimas
Asesor



Dr. Uriel Figueroa Viramontes
Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del Departamento De Postgrado



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme la vida, haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad.

Al consejo Nacional de Ciencia y tecnología por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría y el financiamiento del presente trabajo.

A la universidad Autonoma Antonio Narro por haberme brindado la oportunidad de adquirir los conocimientos transmitidos por su Cuerpo colegiado de Académicos.

Al Dr. Anselmo González Torres, por haberme guiado, aconsejado, brindarme su amistad y finalización de este trabajo.

Al Dr. Anselmo González Torres, por haberme guiado, aconsejado, brindarme su amistad y finalización de este trabajo.

Al Dra. Leticia Romana Gaytán Aleman, por haberme guiado, aconsejado, brindarme su amistad y finalización de este trabajo.

Al Dr. Francisco Gerardo Véliz Deras, aconsejado y dar finalización a este trabajo.

Al Dr. Pedro Cano Ríos , con todo mi respecto y agradecimiento por sus consejos y revisión del presente trabajo de investigación.

Al Dra. Norma Rodríguez Dimas, agradecimiento en su revisión del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Urbano Nava Cambero, por su amistad incondicional, apoyo y disposición en la revisión.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos, sin importar en donde estén quiero darles las gracias.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

Dedicatoria

A mis hijos: Ana Margarita, Marco Aurelio

y a mi esposas Ana Delia.

Para mi madre: Aurelia

Para mi padre: Manuel

A mis hermanos: Guadalupe, José, Florinda, Griselda, y Eulalio, apoyo moral,
cariño y económicos en los momentos difíciles de mi carrera.

A mis cuñados@: Luis, Jose y Lorena, por su apoyo ser parte de la
familia y ese amor que nos unen.

A mis sobrinos: Luis Manuel, Flor Jazmín, Jair Alejandro, Eduardo, Jesús, Daira
Griselda, José Guadalupe, Emilce del Rosario, Emanuel, Xochiátl, Griselda, Manuel, José
María †, y Esmeralda Guadalupe, Fatima, Aurelia.

Contenido

1	RESUMEN.....	xi
2	INTRODUCCIÓN.....	1
3	HIPÓTESIS	4
4	OBJETIVOS GENERAL	4
5	OBJETIVOS ESPECIFICO	4
6	JUSTIFICACIÓN.....	4
7	REVISIÓN DE LITERATURA	5
7.1	Conceptos básicos del magnetismo.	5
7.2	Efecto del magnetismo.....	5
7.3	Efecto de magnetismo en agua	6
7.4	Efecto del magnetismo en la membrana	7
7.5	Efectos de agua tratada magnéticamente en plantas	8
8	MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
9	Material genético	11
9.1	Variable a medir.....	11
9.1.1	Crecimiento	11
9.1.2	Desarrollo	11
9.1.3	Rendimiento	13
9.2	Metodología.....	13
9.2.1	Germinación y plántula	13
9.2.2	Metodología en invernadero (en solución nutritiva).	14
9.2.3	Control del pH y manejo de la solución nutritiva.....	16
9.3	Regresión lineal para calcular grados días.	19
9.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	20
9.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	20
10	RESULTADO Y DISCUSIÓN	21
10.1	Componente de Desarrollo vegetativo.	21
10.1.1	Longitud de raíz, pre-floración, floración, intervalo pre-floración-floración, intervalo floración-madures fisiológica, madures fisiológica.	21
10.1.2	Altura de planta	28
10.1.3	Área foliar.....	34
10.1.4	Diámetro de tallo	41

10.1.5	Número de hojas por planta.....	47
10.2	Componente de crecimiento.....	53
10.2.1	Biomasa aérea, peso de raíz y biomasa total	53
10.3	Componente de rendimiento de semilla.....	59
10.3.1	Rendimiento de semilla, índice de cosecha, número de vainas por planta y numero de grano por planta	59
10.4	Cambio del pH en la solución nutritiva atreves del tiempo.	67
11	CONCLUSIÓN	76
12	REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA	77

Índice de Cuadros y Figuras

	Pág.
Cuadro 1. Características físicas y químicas del agua corriente utilizada en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018	31
Cuadro 2. Medias de los efecto principal e interacciones en Longitud de raíz (cm), Pre-floración (días), Floración (días), Intervalo pre-floración y floración (días), Intervalo pre- floración y madures fisiológica (días), madures Fisiológica (días) en la planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	36
Cuadro 3. ANDEVA para longitud de raíz (cm), pre-floración(días), floración(días), intervalo pre-floración y floración (días), Intervalo pre-floración y madures fisiológica(días) y madures fisiológica(días) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	37
Cuadro 4. Medias de los efecto principal e interacciones en altura (cm) de planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	43
Cuadro 5. ANDEVA para altura de planta (cm) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019	44
Cuadro 6. Medias de los efecto principal e interacciones en área foliar en planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	49
Cuadro 7. ANDEVA para área foliar plantas en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	50
Cuadro 8. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de desarrollo en la planta de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019	53
Cuadro 9. Medias de los efecto principal e interacciones en diámetro de tallo (cm) de planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	56
Cuadro 10. ANDEVA para diámetro de tallo (cm) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	57
Cuadro 11. Medias de los efecto principal e interacciones en número de hojas por planta en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	62
Cuadro 12. ANDEVA para número de hojas por plantas en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	63

Cuadro 13. Medias de los efecto principal e interacciones en biomasa total(g), peso raíz (g) y biomasa total(g) de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	68
Cuadro 14. ANDEVA para biomasa área (g), peso de raíz (g) y biomasa total(g) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	69
Cuadro 15. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de rendimiento de semilla de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	71
Cuadro 16. Medias de los efecto principal e interacciones en para rendimiento de semilla (g), índice de cosecha (%), numero de grano por planta y numero de vainas por planta en planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	74
Cuadro 17. ANDEVA para rendimiento de semilla (g), índice de cosecha (%), numero de grano por planta y numero de vainas por planta en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019	75
Cuadro 18. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de rendimiento de semilla de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	78
Cuadro 19. Medias de los efecto principal e interacciones en los cambios de pH en la solución nutritiva a través del tiempo en la planta de frijol en función de tiempo de exposición de los imanes de neodimio y diferentes pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.	84
Cuadro 20. ANDEVA para cambios de pH en la solución nutritiva a través del tiempo en la planta en frijol en función de tiempo de exposición de imanes de neodimio y diferentes pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019	86
Cuadro 21. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de rendimiento de semilla de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	88

	Pág.
Figura 1. Germinación y trasplantes de la planta de frijol en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	27
Figura 2. Instalación y transparente de las plántulas a sus tratamientos en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	29
Figura 3. Medición y ajuste del pH en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	30
Figura 4. Regresión lineal simple para calcular grados días en un experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.	32
Figura 5. Longitud de raíz en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	38
Figura 6. Pre-floración en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	38
Figura 7. Floración en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización	39
Figura 8. Intervalo de pre floración-floración en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	39
Figura 9. Madurez fisiológica en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	40
Figura 10. Intervalo de floración-madurez fisiológica en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetizada.	40
Figura 11. Altura de planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva.	45
Figura 12. Altura de planta de frijol en función de tiempo de exposición en horas de los imanes de neodimio.	45
Figura 13. Altura final planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de exposición en horas de los imanes.	46
Figura 14. Área foliar en planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva.	51
Figura 15. Área foliar en planta de planta de frijol en función tiempo de exposición en horas de los imanes.	51
Figura 16. Área foliar final en la planta de frijol en función en la interacción de pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	52
Figura 17. Diámetro de tallo final en la planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de exposición en horas de los imanes.	58
Figura 18. Diámetro de tallo de planta de frijol en función de tiempo de magnetización en la solución nutritiva.	58
Figura 19. Área foliar final en planta de frijol en función en la interacción de pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	59
Figura 20. Número de hojas en la planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva.	64

Figura 21. Numero de hojas por planta final planta de frijol en función de tiempo de exposición en horas de los imanes.	64
Figura 22. Número de hojas en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización	65
Figura 23. Biomasa área en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	69
Figura 24. Peso de raíz en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	70
Figura 25. Biomasa total en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	70
Figura 26. Rendimiento de semilla en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	75
Figura 27. Índice de cosecha en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	76
Figura 28. Número de vainas por planta en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	76
Figura 29. Número de grano por vainas en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.	77
Figura 30. Cambios de los pH en la solución nutritiva medidos en la raíz de planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de exposición en horas de los imanes.	86
Figura 31. Cambios de los pH en la solución nutritiva medidos en la raíz de planta de frijol en función de tiempo de magnetización.	87
Figura 32. Cambios finales a los 60 DDT de los pH en la solución nutritiva en las raíces de la planta de frijol en función de la interacción de diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.	88

1 RESUMEN

Efecto de la solución nutritiva magnetizada en el rendimiento y sus componentes en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Morales-Rivera A., González-Torres A., Cano-Ríos P., Gaytán-Alemán LR., Véliz-Deras FG., Norma Rodríguez D., Uriel-Figueroa V.

Estudiante de posgrado, Ciencias en Producción Agropecuaria, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro aumori236@hotmail.com

Se analizó la interacción de diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva en función de diferentes pH para medir el crecimiento, desarrollo y el rendimiento en la planta de frijol, se utilizó la variedad Negro Veracruz, las variables a medir fueron: crecimiento; desarrollo vegetativo y rendimiento de semilla. Para el cultivo, se utilizó el sistema hidropónico con solución nutritiva por el método de Steiner. La unidad experimental consistió de una planta por maceta. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de 4x6 con tres repeticiones. Se establecieron niveles de tiempo expuesto a magnetización en la solución nutritiva (0, 0.333, 2 y 24 horas) por cada tratamiento y niveles de pH (3, 4, 5, 6, 7 y 8). Se realizó un análisis de varianza y regresión múltiple, cuando se detectó significancia prueba de Tukey (DSH, $\leq P=0.05$). Se encontró diferencia altamente significativa para los efectos principales e interacción; excepto en el tiempo de magnetización para las siguientes variables; intervalo de pre floración-floración, intervalo de floración-madurez fisiológica, índice de cosecha, pH de la solución nutritiva, de la misma forma en la interacción no se manifestó diferencia significativa en las variables de diámetro de tallo, número de hojas, número de grano por vainas. Los resultados mostraron que el campo magnético es oportuno para dar un mejor efecto en comparación con el método convencional en la planta de frijol, ya que los análisis de la interacción de los tiempos de magnetización en la solución nutritiva en función a diferentes pH, requieren de menor tiempo para el crecimiento y desarrollo de la planta.

2 ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the interaction of different magnetization times in the nutrient solution as a function of different pH to measure growth, development, and yield in the bean plant. The experiment was carried out in the greenhouse of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unit La Laguna, the variety used was Negro Veracruz, the variables to be measured were: growth; vegetative development and seed yield. For cultivation, the hydroponic system with nutrient solution was used by the Steiner method. Treatments were started when the plants had unfolded simple leaves. The experimental unit consisted of one plant per pot. The experimental design was completely randomized with a 4x6 factorial arrangement with three repetitions. Four levels of time exposed to magnetization in the nutrient solution (0, 0.333, 2 and 24 hours) were established for each treatment, likewise for the pH levels (3, 4, 5, 6, 7 and 8). The data was analyzed with the statistical package, SAS; submitting them to an analysis of variance and multiple regression when significance was detected between variables, Tukey's honest significant difference was applied (DSH, $\leq P=0.05$). The analysis of variance found a significant and highly significant difference for the main effects and interaction; except in the magnetization time for the following variables; pre-flowering-flowering interval, flowering-physiological maturity interval, harvest index, pH of the nutrient solution, in the same way in the interaction there was no significant difference in the variables of stem diameter, number of leaves, number of grain by pods. In conclusion, the results showed that the magnetic field is opportune to give a better effect compared to the conventional method in the bean plant, since the analysis of the interaction of the magnetization times in the nutrient solution depending on different pH, they require less time for the growth and development of the plant.

3INTRODUCCIÓN

Para el año 2050, se prevé que el emporio mundial desarrollará y alcanzará casi los 9.7 millones de personas, el mayor desafío que la agricultura llegara afrontar en los próximos 35 años será asegurar el abasto de suministros para la población, por lo que se requiere una medida innovadora, una solución es la agricultura con técnicas agrícolas de hidroponía, utilizando campos magnéticos para mejorar el crecimiento de la planta (Shukla, S, Wagh, S, . Wagh, 2017).

Teixeira y Dobránszki, (2014); Sadeghipour, (2016); Zuñiga *et al.*, (2018); Nyakane, Markus y Sedibe, (2019) estos autores mencionan que existe un gran desafío por producir más alimentos en tierras menos cultivables y utilizando la menor cantidad de agua para incrementar la productividad y el rendimiento, con tecnologías como las soluciones magnetizadas podrían ser una de las formas en un futuro que podrían mejorar la producción agrícola sustentable.

Todos los organismos en la tierra están sujetos a una acción del campo geomagnético, representado por una inclinación o declinación; dicha intensidad del campo geomagnético en la superficie de la tierra varía de 25 a 65 microteslas (μT) este disminuye gradualmente desde los polos hasta el ecuador (Finlay *et al.*, 2010), un modo para ejemplificar dicha acción es en una planta la cual contiene 85% a 95% de agua (Yano *et al.*, 2004; Maffei, 2014a), esta cuando se magnetiza, cambian algunas propiedades que pueden alterar las características de la planta, teniendo efecto en el crecimiento y la producción(Aladjadjiyan, 2012; Hasaani, Hadi and Rasheed, 2015), ya que esto provoca que los átomos de los cloroplastos se alineen hacia la dirección del campo magnético externo lo que consecuentemente acelera el metabolismo y la germinación por la acumulación de energía (Moussa, 2011), **así mismo**

(Naz *et al.*, 2012) menciona en un trabajo de investigación con *Abelmoschus esculentus* que se manifestó aumento significativo en número de flores por planta, área foliar cm², altura de la planta (cm), número de frutos por planta y número de semillas por planta manifestaron mejores resultados en comparación con el control, al igual que (Vashisth y Joshi, 2017) indico que el tiempo de exposición durante 1 hora incremento y hubo un aumento significativo en el peso seco de la raíz, longitud de la raíz y rendimiento de semilla. Además, el agua magnetizada mejoró la cantidad y calidad de la cosecha en la planta de frijol, el peso fresco, incrementado el número de vainas por planta y crecimiento de la raíz (Belyavskaya, 2001, 2004; Podleśny, J., Pietruszewski, S., y Podleśna, 2004; Turker *et al.*, 2007; Aladjadjian, 2012; Ali, Samaneh y Kavakebian, 2014a); de modo similar (Fernando *et al.*, 2015; Zuñiga Escobar *et al.*, 2016) descubrieron que un tiempo de exposición de 30 minutos en plantas de lechuga y cúrcuma se observó efecto en el aumento de longitud del tallo, biomasa fresca y seca y por longitud de raíz. Sin embargo, también se han informado resultados contradictorios; y como resultado de ensayos de tiempo en germinación en semillas de arroz (*Oryza sativa*) expuestas a diferentes tiempos exposición; 0.0166, 0.166, 0.333, 1.0, 24 horas, y crónico se disminuyeron significativamente en comparación con los controles lo que revela que este tipo de tratamiento afecta en las primeras etapas de crecimiento de las plantas (Flórez, Carbonell y Martínez, 2004). Existen numerosos ejemplos de investigaciones de esta naturaleza en donde se ha demostrado (Xu y Sun, 2008; Gilani *et al.*, 2013; Gilani *et al.*, 2017) que el valor de pH más alto en el agua magnetizada fue significativamente en comparación del aguas no magnetizada; de igual manera había una relación correspondiente entre la conductividad eléctrica del agua y valores de pH; mostraron un incremento significativo en el pH con diferente intensidad magnética; además cuando el agua iónicamente es tratada con el imán se forman moléculas alcalinas y así disminuye la

acidez (Mohammed *et al.*, 2010; Musa y Hamoshi, 2012; Surendran, Sandeep y Joseph, 2016; Hassan *et al.*, 2019). Por otro lado, el pH mostró una mejora del 12% después de ser magnetizado, hasta ahora, el efecto del campo magnético sobre el agua ha sido reconocido como un problema no lineal y propuesto el mecanismo de magnetización del agua según la estructura y distribución de sus moléculas del agua y alteración en las dan como resultado transición de los electrones (Deng y Pang, 2007; Pang y Deng, 2008; Hasaani, Hadi y Rasheed, 2015; El-Ssawy *et al.*, 2020); en contraste con (Alimi *et al.*, 2007) informó que el pH del agua no fue influenciado por los tratamiento con magnetización, de modo similar menciona (Pietruszewski y Martínez, 2015b) que el efecto es variado y depende de la intensidad del campo magnético y el tiempo de exposición de igual manera obedece a las especies vegetal y cultivar.

4 HIPÓTESIS

La interacción de diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva y diferente pH en solución nutritiva magnetizada mejora el crecimiento, desarrollo e incrementa el rendimiento de semilla en la planta de frijol.

5 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la interacción de diferentes tiempos expuestos a la magnetización por medio de la solución nutritiva y los diferentes pH para mostrar el aceleramiento en la fenología de la planta de frijol.

6 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar los resultados de la interacción de diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva en función de diferentes pH en solución nutritiva y comparar crecimiento, desarrollo e incremento del rendimiento de la semilla de frijol.

7 JUSTIFICACIÓN

El aumento de la demanda alimenticia, la población demográfica y la escasez de tierras cultivables son dificultades que se presentan en el incremento de la producción. Los usos de tecnologías convencionales incrementan el rendimiento de los cultivos y a su vez dañan irreversiblemente al medio ambiente. Es por ello que existe un mayor desafío por la agricultura sustentable donde se puede detonar tecnologías innovadoras que den soluciones para acelerar procesos sin dañar el medio ambiente.

8 REVISIÓN DE LITERATURA

8.1 Conceptos básicos del magnetismo.

En efecto el paramagnetismo es una propiedad de muchos otros metales no ferromagnéticos (como el aluminio y el titanio) que se manifiesta en un reordenamiento transitorio de espines de electrones en presencia de un campo magnético, lo que los atrae, Esto es importante distinguir tres conceptos esenciales relacionados con el magnetismo en los materiales, que son: ferromagnetismo, paramagnetismo y diamagnetismo. El ferromagnetismo es una propiedad de ciertos metales y sus aleaciones, principalmente; 1.- hierro, 2.- níquel y 3.- cobalto, que pueden alinear sus paralelos de electrones permanentemente en presencia de un campo magnético, que luego se magnetiza; con referencia al agua, los compuestos orgánicos y los tejidos vivos se consideran materiales diamagnéticos (Zuñiga Escobar *et al.*, 2016).

8.2 Efecto del magnetismo

Los campos magnéticos pueden clasificarse como altos y bajos según su intensidad. Los campos magnéticos superiores a los 1,000 Gauss(G) son considerados de alta intensidad. Los de baja intensidad son aquellos que se encuentran debajo de los 100 nanoteslas (nT) (equivalente a 0.001 G) hasta menos de 1,000 G (Maffei, 2014b); si bien es cierto el campo magnético terrestre ejerce una fuerza que varía entre 0.3-0.6 Gauss y es originado por el movimiento y convección de los fluidos en el interior de la tierra (Occhipinti, De Santis y Maffei, 2014a); Además, se han concluido que la intensidad del campo magnético determina su efecto en cuerpos biológicos ante estímulos magnéticos no presenta una tendencia clara ni línea más sin embargo a mayor intensidad de campo magnético no incrementa la producción o el efecto en la planta y están asociados a efectos negativos como inhibición del crecimiento, disminución de la fotosíntesis y bajo rendimiento productivo (Goodman, Greenebaum y

Marron, 1995; Eşitken y Turan, 2004; Vashisth, Singh y Joshi, 2013; Occhipinti, De Santis y Maffei, 2014b) explicar el aumento en crecimiento y rendimiento productivo de las plantas tratadas magnéticamente (Kordas, 2002). En contraste (Pittman, 1963; Fu, 2012) contradice los efectos negativos de los campos de alta intensidad al presentar resultados favorables en cuanto a la germinación y crecimiento de plantas con campos magnéticos superiores a 4,000 Gaus y añade que un campo tanto de alta como de baja intensidad puede provocar estímulos o respuestas en el crecimiento de las plantas.

8.3 Efecto de magnetismo en agua

Según (Hozayn, El Monem, *et al.*, 2013; Ali, Samaneh y Kavakebian, 2014b; Sayed, 2014) estudiaron las aplicaciones de la tecnología de tratamiento magnético en el desarrollo agrícola mencionaron los efectos del agua magnetizada en las mejoras de la calidad y cantidad del agua de riego, el rendimiento y la calidad de los cultivos de campo, la mejora del suelo, la prevención y/o eliminación de escamas en los sistemas del uso del agua, su ahorro, la germinación de semillas, su crecimiento y desarrollo las variaciones en el pH, ya sea de manera incremento (Maheshwari and Grewal, 2009; Wang and Yao, 2014). Además, hay una mayor solubilidad de sales y aumento de la conductividad eléctrica. Durante el reordenamiento de las partículas por el efecto de la fuerza magnética, la velocidad de las mismas incrementa, lo que provoca la colisión entre las moléculas y su posterior ruptura en agregados más pequeños, haciéndola más asimilable para la planta (Ali, Samaneh y Kavakebian, 2014b). Provocando un cambio en la estructura del agua (Carbonell, Martinez y Amaya, 2000).

Se observó que reduce la tensión superficial, la viscosidad y aumenta el contenido de oxígeno disuelto y la permeabilidad (Pang y Deng, 2008; Maheshwari y Grewal, 2009; Wang y Yao,

2014). El agua magnetizada se basa en los principios de la magneto hidrodinámica; donde al pasar a través de un campo magnético las partículas se cargan con energía. Es decir, las cargas positivas y negativas son atraídas por la fuerza del campo hacia uno de los extremos magnéticos (Abdelaziz y Abdelrazig, 2014). Esto incrementa la absorción de nutrientes por la planta, mejorando su rendimiento productivo (Pang y Shen, 2013). Además, el agua es más asimilable para las plantas, por las características adquiridas con la magnetización (Alvarado y Blanco, 2012).

Hozayn *et al.*, (2016) evaluó los efectos del agua magnetizada en los índices de crecimiento de las plantas en la organización agrícola egipcia y concluyeron que esta tecnología aumentó los índices de crecimiento de las plantas y también aumentó la eficiencia en el uso del agua.

8.4 Efecto del magnetismo en la membrana

La célula tiene un complejo mecanismo de desarrollo, llamado mitosis que consiste en la división de la célula y el aumento de la población celular, constituyendo sistemas complejos como los tejidos, órganos; entonces el movimiento de iones en la membrana tiene mucho que ver en la mitosis, este proceso puede ser alterado por campos magnéticos externos a la célula, según la electrodinámica una carga en movimiento experimenta una fuerza magnética. (Goldsworthy, Whitney y Morris, 1999). Lo que hace el campo magnético variable a una frecuencia es aumentar o disminuir la difusión de iones en la membrana celular, aumentando o disminuyendo de esta manera la mitosis en sistemas biológicos. Los efectos de estimulación o inhibición de los campos magnéticos se han atribuido a cambios en la orientación de las biomoléculas (proteínas), cambios en las biomembranas (lipícas y plasmáticas), alteraciones del flujo de iones a través de la membrana plasmática y cambios en la estructura de las

biomoléculas. Por otro lado, (Goodman, Greenebaum y Marron, 1995) destacan la influencia de campos magnéticos a nivel celular; donde ocurre un aumento de la permeabilidad de la membrana plasmática y transformaciones de células apicales dependiendo de la intensidad del campo magnético (Pietruszewski y Martínez, 2015a).

8.5 Efectos de agua tratada magnéticamente en plantas

La investigación sobre este tema sugiere que los cambios en las propiedades fisicoquímicas de agua tratada magnéticamente podrían afectar directa o indirectamente varios procesos fisiológicos en las plantas. Por lo tanto, el suministro de agua tratada magnéticamente a las plantas produce efectos incrementales en el crecimiento y el desarrollo. Varios autores han informado que la exposición previa del agua de riego a campo magnético conduce a un aumento en la productividad de la planta y a cambios en su metabolismo del agua y los minerales (Maheshwari y Grewal, 2009; Al-Khazan, Abdullatif y Al-Assaf, 2011; Abou El-Yazied *et al.*, 2012; Hozayn, El Monem, *et al.*, 2013; Mahmood y Usman, 2014).

Maheshwari and Grewal, (2009) descubrieron que el tratamiento magnético amortigua los efectos nocivos del agua reciclada de una planta de tratamiento de aguas residuales y agua salina (1500 ppm y 3000 ppm de NaCl), utilizada para riego en apio (*Apium graveolens*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). El rendimiento y la productividad de las plantas cultivadas con agua tratada magnéticamente se incrementó casi al nivel de las que se regaron con agua potable de calidad, y fue más alto que el de las plantas sin tratamiento magnético, bajo condiciones controladas de invernadero. Estos resultados son consistentes con los reportados por (Marei *et al.*, 2014) que utilizaron agua salina para riego tratada con campo magnético, mostrando un aumento significativo en el rendimiento y en la eficiencia del uso del agua en

pimiento (*Capsicum annuum* L.). (Mahmood y Usman, 2014) obtuvieron resultados similares, quienes evaluaron el efecto de un tratamiento magnético (235 mT; flujo 3 L/min) en cuatro tipos de agua de riego (alcantarillado, solución salina, canal de riego y grifo) sobre la germinación de semillas maíz (*Zea mays*), sumergiéndolos en el agua durante 24 horas. Algunos atributos como la velocidad y velocidad de germinación, el índice de emergencia y el crecimiento de raíces y tallos experimentaron aumentos significativos. Se encontró que agua tratada magnéticamente promovió la germinación de semillas de maíz, reduciendo el tiempo de emergencia en 17.90%.

Fernando *et al.*, (2015) mencionan que las plantas de lechuga que recibieron la mitad o la cuarta parte del agua perdida por evaporación, aumentaron su biomasa (por peso fresco y seco y por longitud de raíz) cuando el agua fue tratada con un dispositivo magnético, contrarrestando el efecto nocivo de un suministro de agua limitado. Sin embargo, los autores no proporcionaron una descripción de la dosis de campo magnético o las especificaciones del dispositivo magnético. Otros autores han encontrado patrones similares de respuestas en diferentes cultivos tratados con agua tratada magnéticamente. Por ejemplo, (Al-Khazan, Abdullatif and Al-Assaf, 2011) observaron que el riego con agua tratada magnéticamente a diferentes regímenes de humedad aumentó el contenido relativo de agua y el uso eficiente del agua en plantas de jojoba (*Simmondsia chinensis*), así como el contenido de magnesio, calcio y fósforo. Este efecto se conservó incluso en tratamientos con un régimen de humedad más bajo, lo que indica que la capacidad de estas plantas para gestionar el agua está optimizada debido al tratamiento magnético. Sin embargo, el estudio no especifica el tratamiento magnético utilizado.

Hozayn, Abd El Monem, *et al.*, (2013)–también informaron un aumento del 19% en uso eficiente del agua en la remolacha azucarera suministrada con agua tratada magnéticamente en comparación con el agua no tratada. Se observó que este tratamiento redujo los valores de impurezas en el azúcar recuperado en un 13, 12 y 16% para sodio, potasio y aminoácidos, respectivamente. También hubo un aumento en el peso y la longitud de la raíz, y en los azúcares totales. Desafortunadamente, estos autores no proporcionaron detalles de las dosis magnéticas.

En investigaciones realizadas con agua tratada magnéticamente, se debe considerar que la masa total de una planta contiene 85 a 95% de agua, que tiene un cierto porcentaje de metales paramagnéticos y ferromagnéticos, y una porción insignificante de no metales. Por lo tanto, se ha afirmado que no solo los efectos sobre el agua sino también sobre los solutos pueden provocar cambios en el metabolismo de la planta, en términos de fotosíntesis y absorción de agua (Yano *et al.*, 2004). La teoría de la resonancia ión-ciclotrón propone que el movimiento de los iones a través de la membrana celular se ve afectado en presencia de campo magnético (Galland *et al.*, 2017). Esta teoría podría explicar al menos los aumentos en el contenido mineral observados en los últimos estudios.

Aquí, podemos proponer a partir de nuestra propia experiencia y de otros autores que el tratamiento magnético del agua de riego podría contribuir a la sostenibilidad de los recursos hídricos mediante la explotación de agua de baja calidad y mediante un riego más eficiente y uso eficiente del agua en algunos cultivos. Según las investigaciones más verificables, una dosis de aproximadamente 100 mT-200 mT es la más recomendada para este propósito.

9 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad-Laguna, localizada en el municipio de Torreón, Coahuila. Este municipio forma parte de la Comarca Lagunera, misma que se ubica a una latitud de 26° 37'N y a una altitud de 1100 msnm. En esta región, el clima es semi-desértico con temperatura máxima de 40°C y mínima 6°C que se registran en mes de junio y julio, respectivamente.

10 Material genético

El material genético que se usó para el experimento fue la variedad Negro Veracruz liberada 1980 y días a floración a los 50-55.

Variable a medidas.

10.1.1 Crecimiento

Las variables fenológicas se registraron a partir de la siembra, siguiendo la metodología propuesta por (CIAT, 1982).

Biomasa aérea (g): se calculó al sumar los pesos secos de hojas con peciolo, tallo y ramas, y vainas normales.

Pesos de raíces (g): se consideró al peso seco de raíces producidas por la planta.

Biomasa total (raíces + parte aérea) (g); se calculará al sumar la biomasa de raíces y la biomasa aérea final.

10.1.2 Desarrollo

Longitud raíz (cm): Se midió la longitud de la raíz final desde el cuello hasta la zona de crecimiento, con un flexómetro.

Altura de planta final (cm): Se midió cada 9 días, con mucho cuidado y sin dañar la plántula la longitud.

Diámetro de tallo (cm): se midió el grosor del tallo con un vernier electrónico marca Truper, cada 9 días.

Número de hojas final: se contabilizó todas las hojas observadas cada 9 días.

Área foliar final (cm²): Se determinó cada 9 días la longitud (L, cm) y el ancho (A, cm) de la hoja en la parte media, una vez que las hojas haya alcanzado su tamaño final después de la aparición de la lígula en todas las plantas del experimento ($AF=L*A*0.75$) y durante el ciclo biológico.

Pre-floración: Se determinó cuando el número de días transcurridos desde el inicio del experimento hasta la apareció del primer botón floral de las plantas presentes en cada unidad experimental.

Floración: Se determinó como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 85% de las plantas presentes en cada unidad experimental, mostraba la primera flor abierta.

Intervalo de Pre-floración- Floración: Se determinó cuando el número de días transcurridos de apareció del primer botón floral de las plantas menos los días transcurridos con la primera flor abierta.

Días a madurez fisiológica: Se determinará como el número de días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas presentes en cada unidad experimental, perdió el color verde en el 80 % de sus órganos aéreos.

Intervalo floración-madurez fisiológica: los días transcurridos con la primera flor abierta menos los días que perdió el color verde en el 80 % de sus órganos aéreos.

10.1.3 Rendimiento

Número de vainas normales; se determinará al contar las vainas con al menos una semilla normal en la planta.

Numero de semillas por vaina (SV): Se contó el número de semillas producidas en cada una de las vainas normales de cada planta individual.

Índice de cosecha (%): Se calculó el índice de cosecha (IC, %) al dividir el rendimiento de semilla entre la biomasa aérea final ($IC = RS/BM \times 100$).

Rendimiento de semilla por planta (g): Se determinó al pesar todas las semillas normales producidas por la planta.

10.2 Metodología

10.2.1 Germinación y plántula

Las semillas se desinfecto con solución de hipoclorito de sodio 4%, se sumergieron las semillas durante 3 minutos en la solución. El experimento se estableció con las plántulas obtenidas, después de poner a germinar semillas de frijol en cajas Petri. Las plántulas se trasladaron de las cajas Petri a vasos de polietileno con agrolita, a los 12 días después de que inicio el experimento, donde se dejaron crecer durante 11 días, para llevarlas a las macetas con diferentes tratamientos de exposición de tiempo de magnetización y diferentes pH.



Figura 1. Germinación y trasplantes de la planta de frijol en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

10.2.2 Metodología en invernadero (en solución nutritiva).

Se utilizó el sistema de cultivo en solución nutritiva. La solución nutritiva empleada fue

la de Steiner, (1966) se preparó con agua corriente y se utilizó sales de grado comercial (NPK) y se adicionó como quelato (EDTA-Fe) una solución de micronutrientes. Se

empleó en recipientes de plástico de sección circular de 6 litros de capacidad. En la tapa de

cada recipiente se hicieron perforaciones, una de ellas de un diámetro de 2.0 centímetros para

fijar la planta y otra perforación de aproximadamente 0.5 centímetros para introducir la

manguera para la aireación de la solución nutritiva. Cada recipiente se llenó con la solución

nutritiva y se colocaron un sistema de mangueras de 0.5 centímetros de diámetro que se

mantuvieron , marca Hailea, modelo VB290G

Fosforo de fosfatos 0.08

Fosforo Diacino H_2PO_4 0.25

Sulfato de SO_4 643.6

Carbonatos CO_3 0

Bicarbonatos HCO_3 170.83

Nitratos NO_3 23.03

Fosforo de fosfatos 0.08

Fosforo Diacino H_2PO_4 0.25

Sulfato de SO_4 643.6

Carbonatos CO_3 0

Bicarbonatos HCO_3 170.83

Fierro Fe^3 0

Zinc Zn^+ 0.02

Cobre Cu^+ 0.03

Magnesio Mn^+ 0.01

Boro B^+ 0.99

Cadaverina (-)

Sodio Na^+ 120

Potasio K^+ 13

Calcio Ca^+ 288

Magnesio Mg^+ 29

Aniones (-)

con la solución nutritiva, a través de orificios en la tapa de cada maceta. Esta solución se cambió totalmente cada 15 días, al utilizar agua corriente durante el experimento. El pH de la solución nutritiva se ajustó con Potenciómetro de la marca Hanna HI98130 cada cinco días de acuerdo a los tratamientos de pH; el ajuste de pH se realizó, utilizando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio al 10 %. Se utilizó un Gaussímetro portátil para medir el campo magnético de los imanes utilizados; también se usó un detector de polaridad biomagnetismo Imán Neodimio Ferrita para determinar la polaridad de los imanes. Los imanes utilizados fueron de neodimio con aleación de NdFeB (neodimio, hierro y boro) con revestimiento de cromo y NiCuNi (Níquel y Cobre) que evita la corrosión de la marca Obi, modelo 255590, ancho 2 cm, largo 2 cm; espesor 2 cm y de forma de cilindro. También se usó un Datalogger USB con pantalla LCD de marca CMS Metrology para determinar la temperatura máxima y mínima dentro del invernadero.



Figura 2. Instalación y transparente de las plántulas a sus tratamientos en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

10.2.3 Control del pH y manejo de la solución nutritiva

Los niveles de pH de la solución se mantuvo permanentes desde el inicio del experimento hasta la madurez fisiológica. Para dar seguimiento y mantener los tratamientos de pH, cada cuatro días se registró su valor, y se llevó a cabo el aforo con agua corriente en cada recipiente y se ajustó el pH a su valor correspondiente de acuerdo al tratamiento de pH, adicionado ácido sulfúrico al 10% o hidróxido de sodio. El aforo se realizó con el fin de compensar el agua absorbida y evaporada.



Figura 3. Medición y ajuste del pH en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

Cuadro 1. Características físicas y químicas del agua corriente utilizada en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018

Microelementos	ppm
Fierro Fe ³	0
Zinc Zn ⁺	0.02
Cobre Cu ⁺	0.03
Magnesio Mn ⁺	0.01
Boro B ⁺	0.99
Cationes (+)	
Sodio Na ⁺	120
Potasio K ⁺	13.0
Calcio Ca ⁺	288
Magnesio Mg ⁺	29.0
Aniones (-)	
Nitratos NO ₃	23.03
Fosforo de fosfatos	0.080
Fosforo Diacino H ₂ PO ₄	0.250
Sulfato de SO ₄	643.6
Carbonatos CO ₃	0
Bicarbonatos HCO ₅	170.83
Cloruros Cl	198.52
Parámetros físicos	
pH	7.80
Conductividad eléctrica mS/cm	2.21
Relación de absorción de sodio	1.80
Porcentaje de sodio intercambiable (%)	0.38

10.3 Regresión lineal para calcular grados días.

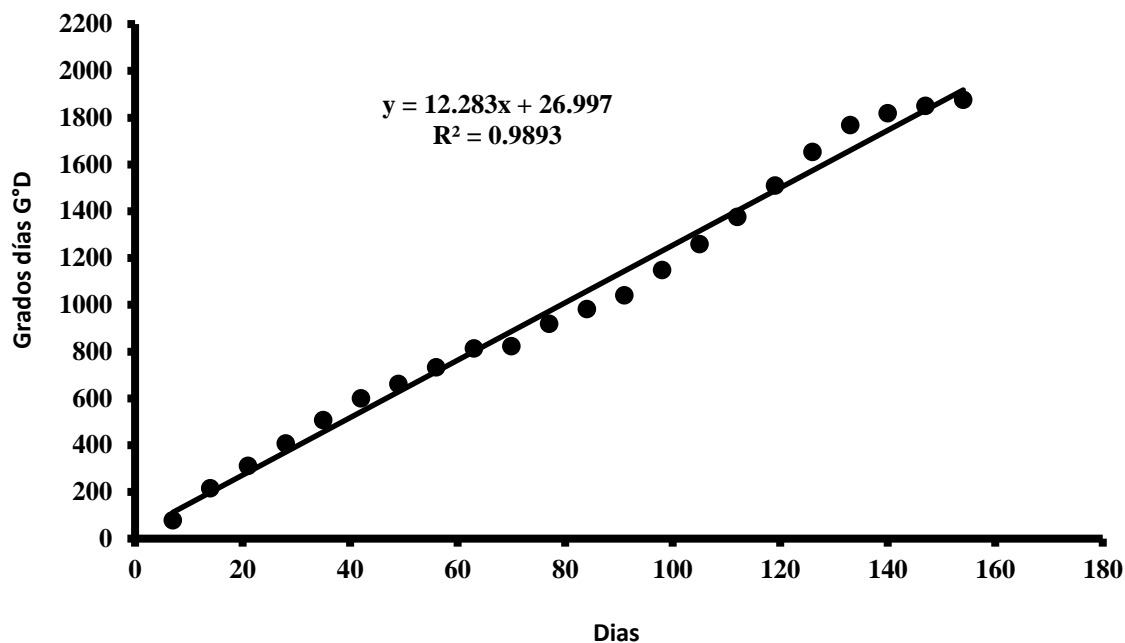


Figura 4. Regresión lineal simple para calcular grados días en un experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

Los grados día (GD, °Cd) a floración y madurez fisiológica se calcularon con la siguiente ecuación.

$$GD = \sum_{i=0}^n (X_i - T_b)$$

Dónde: GD= grados día (°Cd), X_i = media de la temperatura máxima y mínima diaria del aire y T_b = temperatura base con valor de 8.2 °C para frijol (Barrios-Gómez and López-Castañeda, 2009; Romero Félix *et al.*, 2019).

10.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 4x6 con tres repeticiones. Los tratamientos que se establecieron cuatro niveles de tiempo expuesto magnetización en el recipiente de la solución nutritiva (0.333 hora, 2 hora, 24 hora y sin imán); para los niveles de pH (3, 4, 5, 6, 7 y 8). Dichos tratamientos se iniciaron cuando las plantas presentaban las hojas simples desplegadas. La unidad experimental consistió de una planta por maceta.

10.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se analizaron con el paquete estadístico, versión 9.0 (SAS Institute 1999), fueron sometido a un análisis de varianza y regresión múltiples cuando se detectó significancia entre variables se aplicó la diferencia significativa honesta de Tukey ($DSH, \leq P=0.05$).

11 RESULTADO Y DISCUSIÓN

11.1 Componente de Desarrollo vegetativo.

11.1.1 Longitud de raíz, pre-floración, floración, intervalo pre-floración-floración, intervalo floración-madures fisiológica, madures fisiológica.

En el Cuadro 2 muestra el desarrollo en la altura de las plantas de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de exposición de imanes de neodimio, en diferentes componentes de desarrollo vegetativo longitud de raíz (LR), Pre-floración (PF), floración (FL), intervalo pre-floración-floración (IPFF), intervalo floración-madures fisiológica (IPFM), madures fisiológica (MF). El análisis de varianza (ANDEVA) individual para LR y MF en la planta de frijol diferencia altamente significativa para los efectos principales (tiempo de magnetización y pH) e interacción (tiempo de magnetización x pH) $p=0.0001$; se observó significativa para las variables; PF y FL; para el tiempo de magnetización $p=0.0075-0.0097$; PF, FL, IPFF y IPFM pH $p=0.0002-0.0059$; e interacción (tiempo de magnetización x pH) $=0.008-0.0222$, y no significativa fue para el factor tiempo de magnetización en las variables de IPFF y IPFM $p=0.2415-0.1623$ respectivamente cuadro 3.

Las plantas de frijol fueron más altas cuando en función de la interacción pH y tiempo de magnetización en la solución nutritiva, con pH 4, 5 y tiempo de magnetización de 2 y 24 horas alcanzaron una LR máxima de 36.83, 34.92, 29.94 y 32.67 cm respectivamente. Para las variables de PF, FL, IPFF, IPFM, MF las más altas en los días final, en función de la interacción de pH y tiempo de magnetización en la solución nutritiva, cuando (PF) el pH 7 y 8, tiempo de magnetización 0 y 2 horas, alcanzaron una máxima de 72.42, 72.58, 70.89 y 61.06 días;(FL) pH 7 y 8 tiempo de magnetización en la solución nutritiva 2 horas alcanzaron

una máxima de 78.50, 79.00 y 76.83 días; IPFF, pH 3 y 8, tiempo de magnetización 0 y 24 horas, alcanzaron su máximo valor de 6.83, 6.42, 6.22 y 6.06; IPFM, pH 3 y tiempo de magnetización de 24 horas, alcanzaron una máxima de 47.58 y 37.72 días; MF pH 7 y 8 y tiempo de magnetización 2 y 24 horas, alcanzaron una máxima de 113.92, 111.42, 108.72 y 108.56 días respectivamente(Figura 5-10).

Los modelos que estima LR en función tiempo de magnetización y pH fueron multiregresión y cubica ($Y = -20.39 + 3.37 \text{ tiempo} - 0.13 \text{ tiempo}^2 + 21.14 \text{ pH} - 2.17 \text{ pH}^2$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.674$; $Y = -86.58 + 3.37 \text{ tiempo} - 0.13 \text{ tiempo}^2 + 62.07 \text{ pH} - 10.05 \text{ pH}^2 + 0.48 \text{ pH}^3$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.700$; $Y = -84.45 + 0.29 \text{ tiempo} + 62.07 \text{ pH} - 10.05 \text{ pH}^2 + 0.48 \text{ pH}^3$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.652$).

Según Morales *et al.*, (2015); Romero Félix *et al.*, (2019) las diferencias fenológicas están determinadas por el régimen de temperaturas durante la noche la que tiene un efecto mayor en el desarrollo fenológico en la planta de frijol al reducir la duración de las etapas de desarrollo, otro estudios de investigación donde afirman por (Naz *et al.*, 2012; Fernando *et al.*, 2015; Zuñiga Escobar *et al.*, 2016; Vashisth y Joshi, 2017; Liu *et al.*, 2019) en donde realizaron experimento con tiempo de exposición durante 30 minutos y 1 hora dio incremento y aumento significativo longitud de raíz y crecimiento de raíces y se señaló un aumento significativo en número de flores por planta, en comparación no se aplicó el tratamiento magnético.

Cuadro 2. Medias de los efecto principal e interacciones en Longitud de raíz (cm), Pre-floración (días), Floración (días), Intervalo pre-floración y floración (días), Intervalo pre-floración y madures fisiológica (días), madures Fisiológica (días) en la planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

Variables	Tiempo expuesto/h	pH						Media
		3	4	5	6	7	8	
Longitud de raíz	0	11.00 c	30.33 a	31.67 a	35.67 a	21.00 b	11.00 c	23.44 b
	0.333	20.00 cd	32.33 a	29.33 ab	29.00 ab	25.00 bc	16.00 d	25.28 b
	2.0	31.67 b	39.00 a	38.67 a	29.33 bc	25.00 c	16.00 d	29.94 a
	24.0	40.0 a	45.7 a	40.0 a	29.3 b	25.0 b	16.0 c	32.67 a
	Media	25.67 c	36.83 a	34.92 ab	30.83 b	24.00 c	14.75 d	
Pre-floración	0	51.33 bc	50.00 bc	43.00 c	64.67 ab	78.67 a	78.67 a	61.06 a
	0.333	32.33 c	59.00 ab	55.00 b	60.67 ab	76.33 a	65.67 ab	58.17 b
	2	71.33 a	64.67 a	75.33 a	68.67 a	63.67 a	81.67 a	70.89 a
	24	51.00 b	62.33 ab	75.67 a	64.33 ab	71.00 a	64.33 ab	64.78 ab
	Media	51.50 b	59.00 ab	62.25 ab	64.58 ab	72.42 a	72.58 a	
Floración	0	57.67 bc	56.00 bc	49.33 c	71.33 ab	84.67 a	84.67 a	67.28 ab
	0.333	41.33 c	62.67 b	60.33 b	64.33 ab	82.00 a	70.67 ab	63.56 b
	2	77.33 ab	69.00 b	80.67 ab	74.67 ab	70.00 b	89.33 a	76.83 a
	24	57.00 b	67.67 ab	82.00 a	69.67 ab	77.33 a	71.33 ab	70.83 ab
	Media	58.33 b	63.83 b	68.08 ab	70.00 ab	78.50 a	79.00 a	
Intervalo pre-floración y floración	0	6.33 a	6.00 a	6.33 a	6.67 a	6.00 a	6.00 a	6.22 a
	0.333	9.00 a	3.67 b	5.33 b	3.67 b	5.67 b	5.00 b	5.39 a
	2	6.00 ab	4.33 b	5.33 b	6.00 ab	6.33 ab	7.67 a	5.94 a
	24	6.0 a	5.3 a	6.3 a	5.3 a	6.3 a	7.0 a	6.06 a
	Media	6.83 a	4.83 b	5.83 ab	5.42 ab	6.08 ab	6.42 a	
Intervalo floración y madures fisiológica	0	53.33 a	41.67 ab	39.33 ab	27.67 bc	20.00 c	19.00 c	33.50 a
	0.333	38.33 a	40.67 a	42.00 a	37.67 a	35.33 a	42.00 a	39.33 a
	2	36.33 ab	31.33 ab	20.00 b	25.67 b	49.33 a	28.67 b	31.89 a
	24	62.3 a	36.7 b	23.7 b	26.7 b	37.0 b	40.0 b	37.72 a
	Media	47.58 a	37.58 ab	31.25 b	29.42 b	35.42 ab	32.42 b	
Madures Fisiológica	0	111.00a	97.67 c	88.67 d	99.00 c	104.67 b	103.67 b	100.78 b
	0.333	79.67 d	103.33 c	102.33 c	102.00 c	117.33 a	112.67 b	102.89 b

2	113.67 b	100.33 c	100.67 c	100.33 c	119.33 a	118.00 ab	108.72 a
24	119.3 a	104.3 c	105.7 c	96.3 d	114.3 b	111.3 b	108.56 a
Media	105.92 a	101.42 c	99.33 c	99.42 c	113.92 a	111.42 a	

Valores con las mismas letras no son significativamente diferentes (Tukey DHS, $p \leq 0.05$).

Cuadro 3. ANDEVA para longitud de raíz (cm), pre-floración(días), floración(días), intervalo pre-floración y floración (días), Intervalo pre-floración y madures fisiológica(días) y madures fisiológica(días) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

Variabes	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
Longitud de raíz	Tiempo	3	23.23	<0.0001	13.4
	pH	5	57.32	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	6.58	<0.0001	
Pre-floración	Tiempo	3	4.24	0.0097	17.8
	pH	5	6.17	0.0002	
	Tiempo x pH	15	2.37	0.0121	
Floración	Tiempo	3	4.48	0.0075	16.3
	pH	5	6.18	0.0002	
	Tiempo x pH	15	2.17	0.0216	
Intervalo pre-floración y floración	Tiempo	3	1.44	0.2415	21.6
	pH	5	3.76	0.0059	
	Tiempo x pH	15	2.16	0.0222	
Intervalo floración y madurez fisiológica	Tiempo	3	1.79	0.1623	31.1
	pH	5	4.19	0.0031	
	Tiempo x pH	15	2.51	0.0080	
Madurez fisiológica	Tiempo	3	40.26	<0.0001	2.6
	pH	5	65.44	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	30.53	<0.0001	

FV=fuente de variación, **GL**= grado de libertad, **CV%**=coeficiente de variación

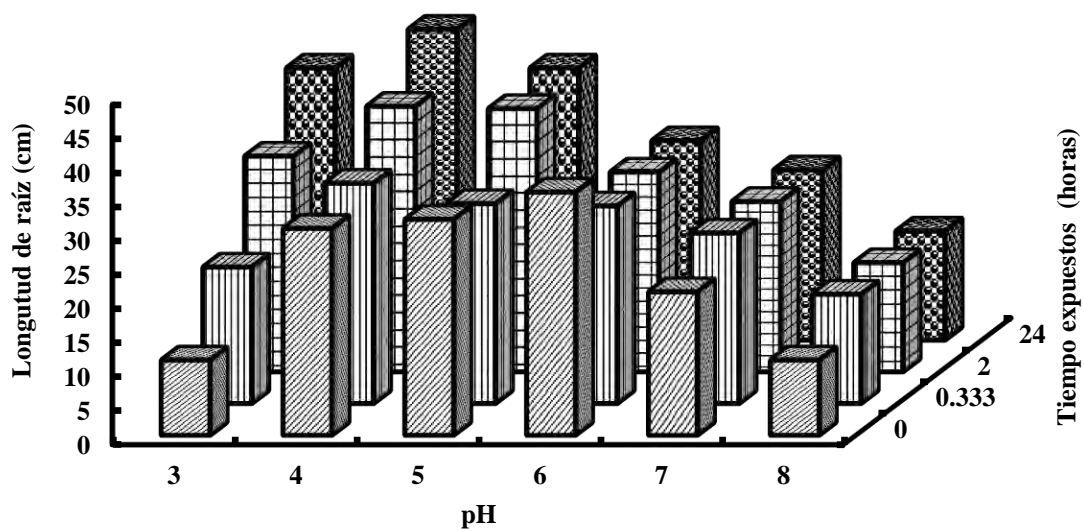


Figura 5. Longitud de raíz en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

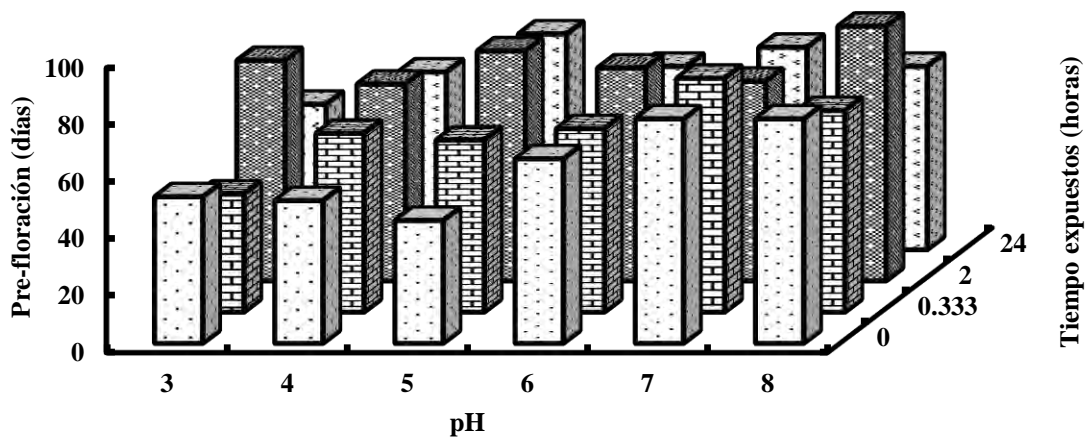


Figura 6. Pre-floración en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

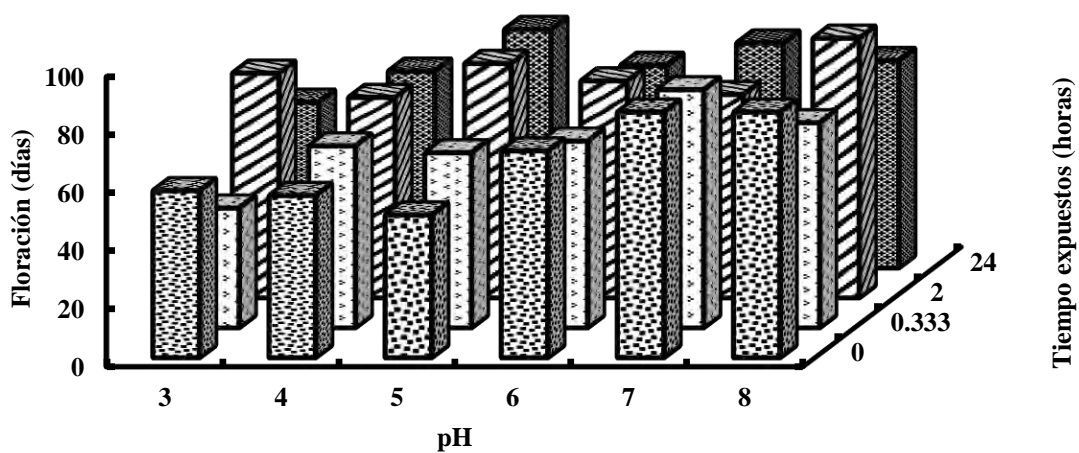


Figura 7. Floración en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

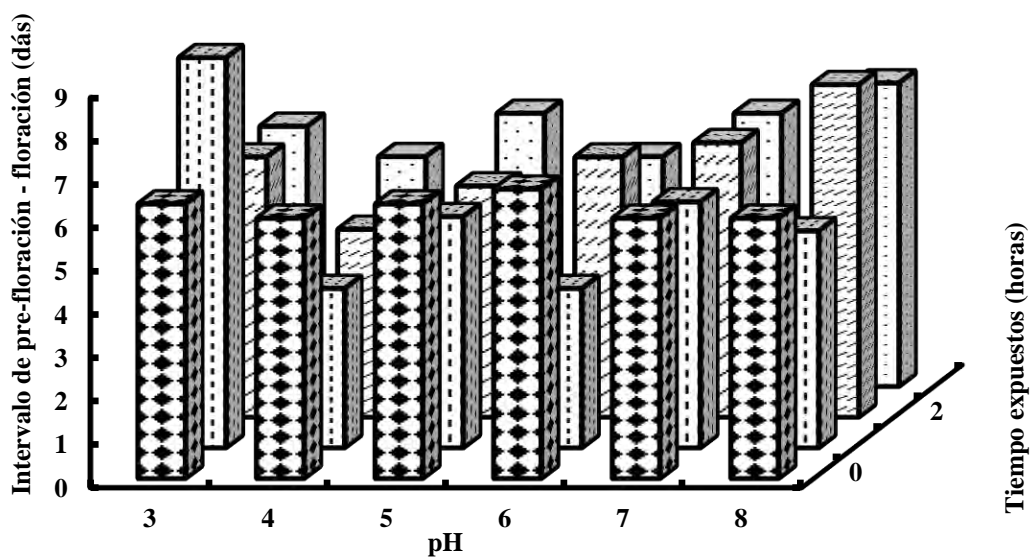


Figura 8. Intervalo de pre floración-floración en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

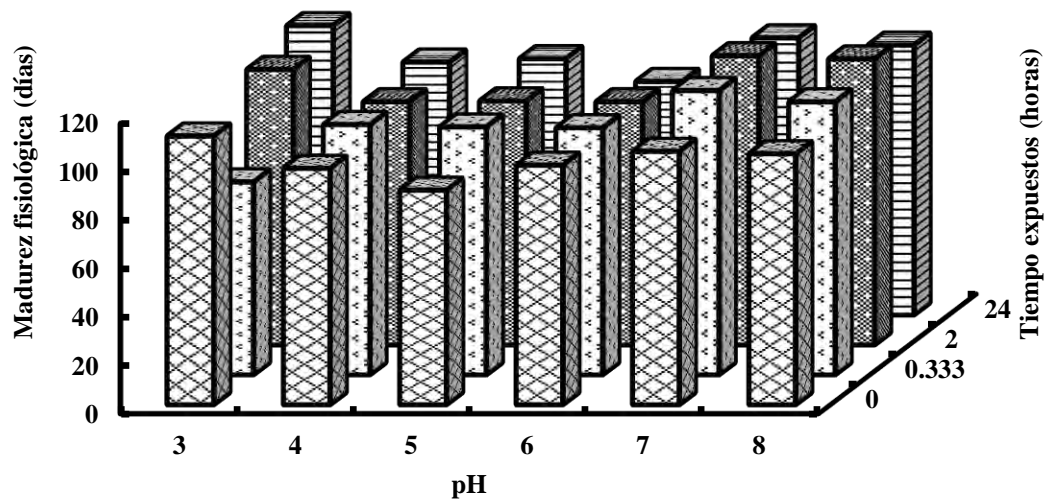


Figura 9. Madurez fisiológica en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

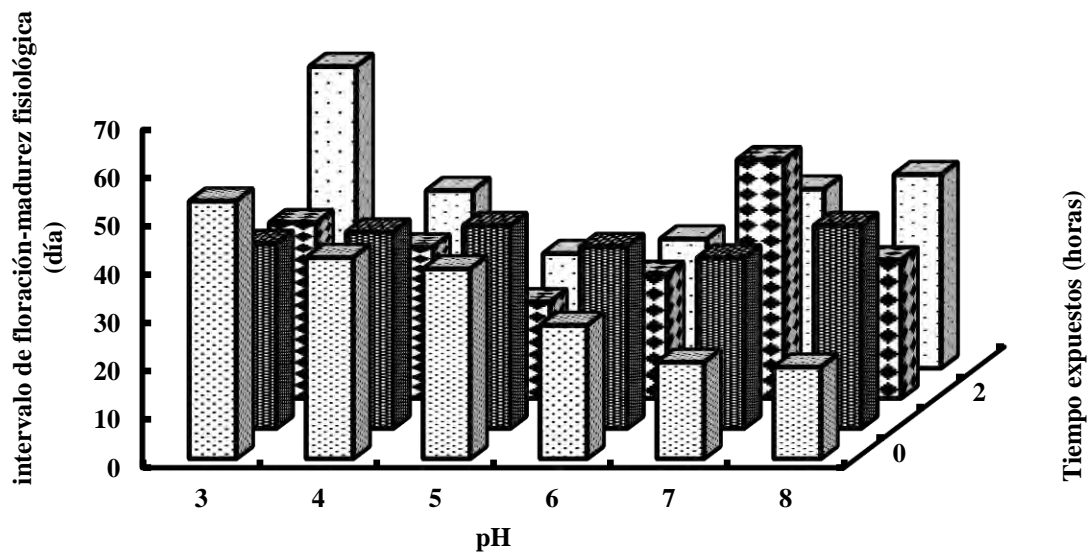


Figura 10. Intervalo de floración-madurez fisiológica en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetizada.

11.1.2 Altura de planta

El **Cuadro 4** muestra el desarrollo en la altura de las plantas de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de magnetización, en diferentes épocas después del trasplante(DDT). El análisis de varianza (ANDEVA) individual en la altura de planta de frijol, se observó diferencia significativa, altamente significativa y no significativa en la altura de planta para el tiempo de magnetización, pH y su interacción respectivamente, para cada fecha de muestreo, para el factor tiempo 9, 27- 54 DDT $p=0.004-0.042$; excepto a los 18 DDT $p=0.2799$; pH 18-54 DDT $p=0.0001-0.0339$ excepto 9 DDT $p=0.5858$; para la interacción tiempo x pH 54 DDT 0.0191; excepto 18-45 DDT $p=0.2662-0.5800$ **Cuadro 5**.

La Figura 11 muestra la dinámica de crecimiento en altura de las plantas de frijol, bajo diferentes condiciones de pH en la solución nutritiva. Las plantas de frijol fueron más altas cuando el pH de la solución nutritiva fue de 4 y 5, alcanzando una altura máxima de 30.1 y 26.0 cm, respectivamente. Las plantas de frijol mostraron un crecimiento intermedio con pH de 6 y 7, alcanzando una altura máxima de 21.0 y 15.8 cm, respectivamente. Las plantas de frijol presentaron el crecimiento más bajo con pH de 3 y 8, alcanzando una altura máxima de 11.7 y 13.3 cm, respectivamente.

La Figura 12 muestra la dinámica de crecimiento en altura de las plantas de frijol, bajo diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva. Las plantas de frijol fueron más altas cuando el imán de neodimio se expuso las 24 horas en la solución nutritiva, alcanzando una altura máxima de 23.10. Las plantas de frijol mostraron un crecimiento intermedio con el tiempo expuesto de 0.333 horas, alcanzando una altura máxima de 20.10 cm. Las plantas de frijol presentaron el crecimiento más bajo con el tiempo expuestos en con los imanes 0 y 2 horas, alcanzando una altura máxima de 18.0 y 17.40, respectivamente.

La Figura 13 muestra la altura final de las plantas de frijol, a los 54 DDT, en función de la interacción pH y tiempo de magnetización en la solución nutritiva. Las plantas de frijol fueron más altas cuando hubo interacción el pH con 4 y 5 y tiempo de magnetización fue de 24 horas, alcanzando una altura máxima de 30.1, 26.0 y 23.10 cm, respectivamente.

El modelo que estima la altura de planta final de frijol en función de tiempo de magnetización y pH fue cúbico ($Y = -192.01 + 122.04 \text{ pH} - 21.54 \text{ pH}^2 + 1.19\text{pH}^3$, $p = < 0.0001$, $R^2 = 0.59$ (Cuadro 8).

Según (Aladjadjiyan, 2012; Naz *et al.*, 2012; Hasaani, Hadi y Rasheed, 2015) cuando se magnetiza el agua, cambian algunas propiedades que pueden alterar las características de la planta como la altura de la planta en comparación con el control. Por lo tanto, el tratamiento con solución nutritiva magnetizada sería una opción viable para el buen desarrollo de la planta de frijol.

Cuadro 4. Medias de los efecto principal e interacciones en altura (cm) de planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	GDD	Tiempo expuesto/h	pH					Media	
			3	4	5	6	7		8
9	0		5.00 a	6.30 a	7.00 a	4.70 a	6.00 a	4.70 a	5.60 a
	0.333		4.70 a	4.70 a	5.00 a	4.70 a	3.70 a	4.30 a	4.50 ab
	2		4.30 a	4.00 a	4.00 a	3.00 a	4.70 a	5.00 a	4.20 b
	24		3.30 b	6.00 a	3.70 ab	4.70 ab	4.00 ab	5.30 ab	4.50 ab
	Media		4.30 a	5.30 a	4.90 a	4.30 a	4.60 a	4.80 a	
18	0		8.33 bc	10.67 ab	12.67 a	8.33 bc	9.00 abc	6.67 c	9.30 a
	0.333		8.30 a	9.70 a	8.70 a	8.70 a	6.70 a	7.70 a	8.30 a
	2		8.00 a	9.70 a	8.70 a	7.70 a	7.00 a	6.30 a	7.90 a
	24		6.67 b	11.00 a	6.00 ab	7.67 ab	7.33 ab	9.33 b	8.00 a
	Media		7.80 a	10.30 a	9.00 a	8.10 a	7.50 a	7.50 a	
27	0		9.33 bc	12.33 ab	13.67 a	10.00 abc	9.67 abc	6.00 c	10.20 a
	0.333		8.30 ab	11.30 a	10.00 ab	10.0 ab	6.00 b	8.30 ab	9.00 ab
	2		8.00 a	10.00 a	7.00 a	7.30 a	7.00 a	6.70 a	7.70 b
	24		9.00 ab	11.33 a	7.00 b	8.33 ab	8.33 ab	10.33 ab	9.10 ab
	Media		8.70 ab	11.30 a	9.40 ab	8.90 ab	7.80 b	7.80 b	
36	0		11.67 b	13.67 ab	18.00 a	12.33 b	11.00 b	11.33 b	13.00 a
	0.333		9.00 ab	12.30 a	12.00 ab	10.50 ab	7.00 b	8.00 ab	9.80 b
	2		8.00 a	11.30 a	10.00 a	8.70 a	9.00 a	8.70 a	9.30 b
	24		10.00 ab	15.00 a	8.67 b	11.67 ab	11.00 ab	10.67 ab	11.20 ab
	Media		9.70 a	13.10 a	12.20 a	10.80 a	9.50 a	9.70 a	
45	0		12.49 c	22.77 ab	26.63 a	17.80 bc	15.79 c	13.83 c	18.20 a
	0.333		10.20 b	19.60 a	19.20 a	14.70 ab	9.80 b	11.50 b	14.20 b
	2		11.10 b	18.90 a	15.20 ab	11.80 b	12.50 ab	11.50 b	13.50 b
	24		11.92 b	21.13 a	15.44 ab	16.75 ab	15.70 ab	12.49 b	15.60 ab
	Media		11.40 c	20.60 a	19.10 ab	15.30 ab	13.50 c	12.40 c	
54	0		11.88 b	24.53 a	20.23 a	20.32 a	18.78 ab	12.43 b	18.00 b
	0.333		10.60 b	29.10 a	28.80 a	26.50 a	11.10 b	14.20 b	20.10 ab
	2		12.30 c	30.30 a	20.70 b	15.30 cb	14.20 cb	11.50 c	17.40 b
	24		11.88 c	36.42 a	34.50 a	21.85 b	19.17 b	14.97 cb	23.10 a
	Media		11.70 b	30.10 a	26.00 ab	21.00 bc	15.80 cd	13.30 d	

Valores con las mismas letras no son significativamente diferentes (Tukey DHS, $p \leq 0.05$).

Cuadro 5. ANDEVA para altura de planta (cm) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
9	Tiempo	3	3.15	0.0335	32.1
	pH	5	0.76	0.5858	
	Tiempo x pH	15	0.93	0.5371	
18	Tiempo	3	1.32	0.2799	27.9
	pH	5	2.55	0.0399	
	Tiempo x pH	15	1.03	0.4428	
27	Tiempo	3	2.95	0.0421	28.2
	pH	5	3.11	0.0165	
	Tiempo x pH	15	1.23	0.2862	
36	Tiempo	3	5.19	0.0035	28.6
	pH	5	2.84	0.0251	
	Tiempo x pH	15	0.89	0.5800	
45	Tiempo	3	5.21	0.0034	25.3
	pH	5	10.48	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.93	0.5435	
54	Tiempo	3	6.33	0.0011	22.0
	pH	5	34.20	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	2.21	0.0191	

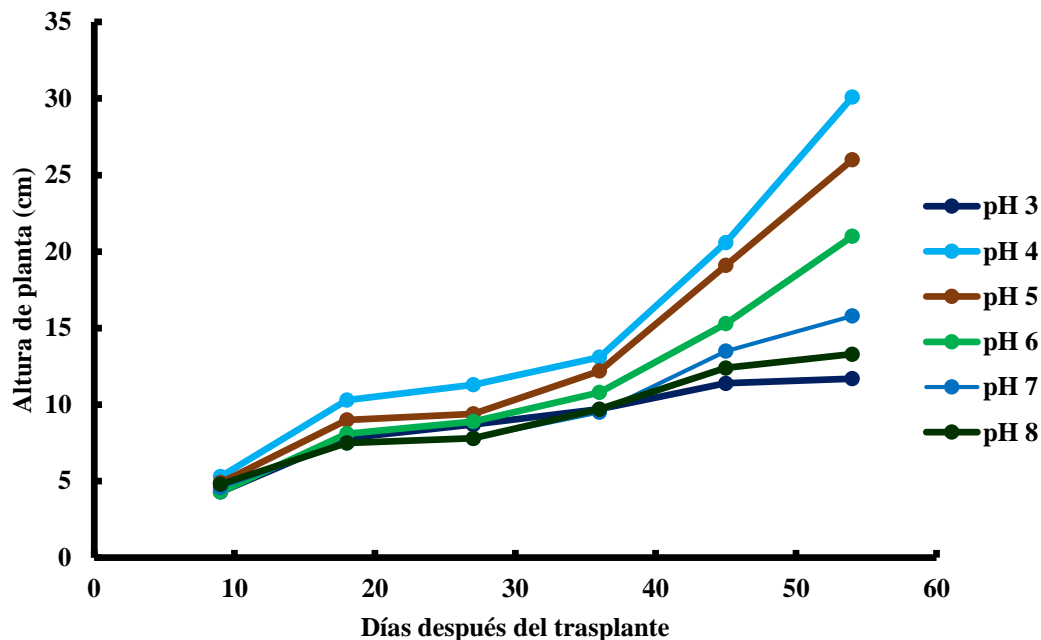


Figura 11. Altura de planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva.

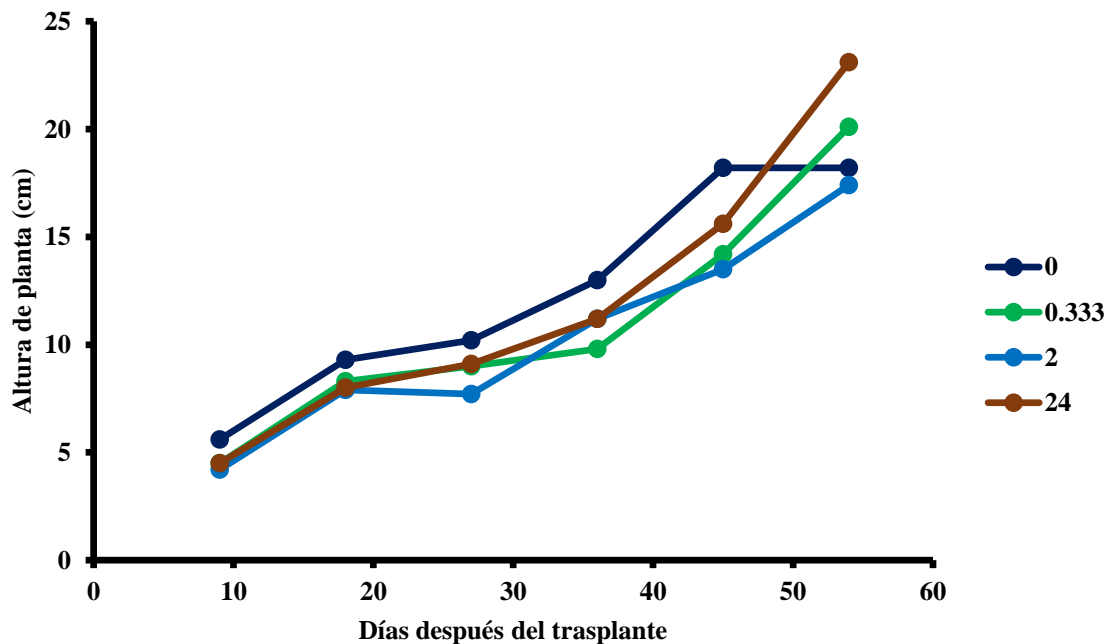


Figura 12. Altura de planta de frijol en función de tiempo de exposición en horas de los imanes de neodimio.

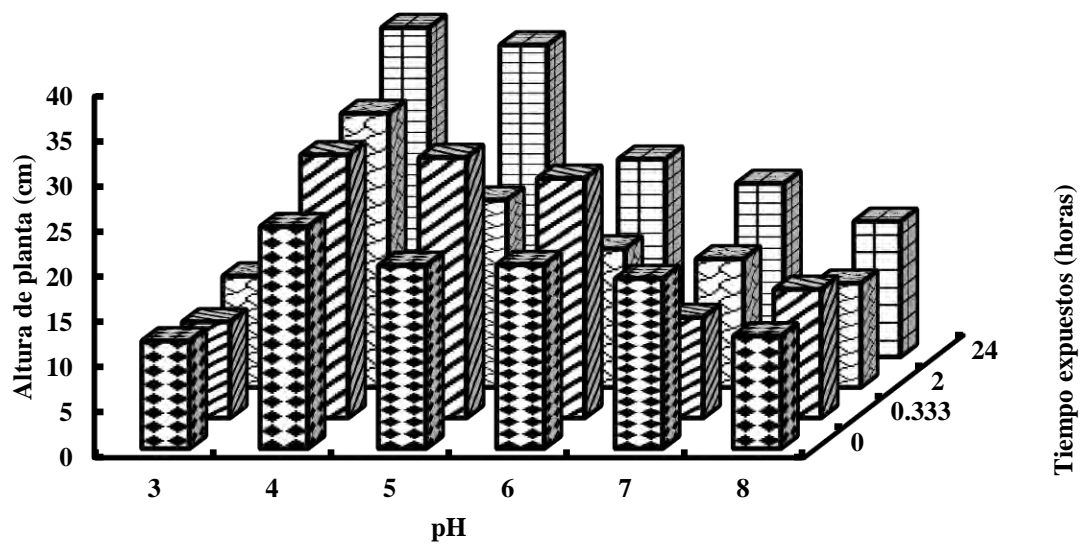


Figura 13. Altura final planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de exposición en horas de los imanes.

11.1.3 Área foliar

En el Cuadro 6 muestra el desarrollo en área foliar en plantas de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de exposición de imanes de neodimio, en diferentes épocas después del trasplante (DDT).

El análisis de varianza (ANDEVA) individual para el área foliar en planta frijol mostró diferencias altamente significativas, significativa y no significativa en el área foliar para el tiempo de magnetización, pH y su interacción, para cada fecha de muestreo, para el factor tiempo 18-54 DDT $p= 0.0001- 0.0787$; excepto a los 27 DDT $p= 0.2109$; factor pH 36 - 54 DDT $p=0.0001$, no significativa a los 9 y 18 DDT $p= 0.8173$ y 0.8622 ; para la interacción 54 DDT 0.0001 , excepto a los 9-45 DDT $p=0.1233, 0.7889$ cuadro 7.

En la Figura 14 muestra la dinámica de desarrollo en el área foliar de las plantas de frijol, bajo diferentes condiciones de pH en la solución nutritiva. Las plantas de frijol con más área foliar fue cuando el pH de la solución nutritiva fue de 5, alcanzando un área foliar máxima de 66.88 cm^2 . Las plantas de frijol mostraron un crecimiento intermedio con pH de 5 y 6, alcanzando el área foliar máxima de 48.87 y 47.60 cm^2 , respectivamente. Las plantas de frijol presentaron el crecimiento más bajo con pH de 3, 7 y 8, alcanzando un área foliar máxima de $31.58, 29.68$ y 32.23 cm^2 , respectivamente.

En la Figura 15 muestra la dinámica de área foliar de las plantas de frijol, bajo tiempo de magnetización en la solución nutritiva. Las plantas de frijol con más área foliar fue cuando el tiempo de magnetización fue de 0.333 horas en la solución nutritiva, alcanzando un área foliar de 54.18 cm². Las plantas de frijol mostraron un crecimiento intermedio con el tiempo de magnetización de 0 y 24 horas, alcanzó un área foliar máxima de 39.90 y 45.34 cm². Las plantas de frijol presentaron el crecimiento más bajo con el tiempo expuestos en con los imanes 2 horas, alcanzando una área foliar máxima de 31.80 cm².

La Figura 16 muestra el área foliar final en las plantas de frijol, a los 54 DDT, en función del pH y tiempo de magnetización en la solución nutritiva. Las plantas de frijol con área foliar cuando la interacción del pH de la solución nutritiva fue de 5 con tiempo de magnetización de 0.333 horas en la solución nutritiva, alcanzando un área foliar de 66.88 y 54.18 cm² respectivamente.

El modelo que estima el área final en la planta de frijol en función del tiempo de magnetización y pH fue de multiregresión ($Y = -367.50 + 53.08 \text{ tiempo} - 30.96 \text{ tiempo}^2 + 1.20 \text{ tiempo}^3 + 242.21 \text{ pH} - 43.97 \text{ pH}^2 + 2.49 \text{ pH}^3$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.461$ (Cuadro 8).

Según (Naz *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2019) aumento el área foliar en un 19.5 % cuando se regaron las plantas con agua magnetizadas en comparación con el agua normal.

Cuadro 6. Medias de los efecto principal e interacciones en área foliar en planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	GDD	Tiempo expuesto/h	pH						Media
			3	4	5	6	7	8	
9	138	0	0.382 a	0.217 ab	0.206 ab	0.331 ab	0.182 b	0.231 ab	0.258 a
		0.333	0.087 a	0.204 a	0.179 a	0.097 a	0.145 a	0.164 a	0.146 b
		2	0.191 a	0.280 a	0.255 a	0.144 a	0.244 a	0.202 a	0.210 ab
		24	0.241 a	0.223 a	0.235 a	0.174 a	0.132 a	0.179 a	0.198 ab
		Media	0.2255 a	0.231 a	0.218 a	0.187 a	0.176 a	0.194 a	
18	248	0	0.993 a	0.565 ab	0.534 ab	0.860 ab	0.472 b	0.599 ab	0.670 a
		0.333	0.262 a	0.532 a	0.465 a	0.253 a	0.378 a	0.427 a	0.386 b
		2	0.497 a	0.728 a	0.664 a	0.376 a	0.635 a	0.525 a	0.571 ab
		24	0.375 a	0.580 a	0.611 a	0.453 a	0.343 a	0.467 a	0.471 ab
		Media	0.532 a	0.601 a	0.569 a	0.486 a	0.457 a	0.505 a	
27	359	0	30.10 b	55.46 a	34.9 ab	28.02 b	21.82 b	12.11 b	30.41 a
		0.333	29.76 bc	55.67 a	42.90 abc	48.15 ab	22.23 c	20.90 c	36.60 a
		2	22.63 b	48.45 a	17.76 b	32.93 ab	23.00 b	13.17 b	26.33 a
		24	32.52 b	57.16 a	29.23 b	20.29 b	21.78 b	40.79 ab	33.63 a
		Media	28.75 b	54.19 a	31.20 b	32.35 b	22.21 b	21.74 b	
36	469	0	37.10 b	71.35 a	35.40 b	29.02 b	22.30 b	16.13 b	35.22 ab
		0.333	32.11 bc	58.08 ab	47.52 abc	73.19 a	22.57 c	26.84 c	43.39 a
		2	23.94 ab	49.13 a	18.25 b	33.31 ab	24.95 ab	22.90 ab	28.74 b
		24	33.44 b	63.80 a	31.47 b	22.19 b	29.11 b	41.72 ab	36.96 ab
		Media	31.65 b	60.59 a	33.16 b	39.43 b	24.73 b	26.90 b	
45	580	0	38.09 b	71.72 a	35.66 b	29.44 b	22.30 b	16.33 b	35.59 ab
		0.333	32.99 bc	58.27 ab	47.90 abc	73.44 a	22.66 c	27.26 c	43.75 a
		2	24.13 ab	49.29 a	18.44 b	33.31 ab	25.06 ab	23.19 ab	28.90 b
		24	33.69 a	64.38 b	31.54 b	22.51 b	29.40 b	42.00 ab	37.25 ab
		Media	32.2309 b	60.91 a	33.38 b	39.67 b	24.85 b	27.20 b	
54	690	0	27.0607 c	78.23 a	48.73 b	34.85 cb	25.68 c	24.86 c	39.90 bc
		0.333	33.79 c	69.98 b	59.67 b	93.24 a	35.75 c	32.67 c	54.18 a
		2	27.54 bc	54.95 a	19.64 c	39.81 ab	19.50 c	29.38 bc	31.80 c
		24	37.94 cb	64.38 a	67.44 a	22.51 c	37.79 cb	42.00 b	45.34 ab
		Media	31.58 c	66.88 a	48.87 b	47.60 b	29.68 c	32.23 c	

Cuadro 7. ANDEVA para área foliar plantas en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
9	Tiempo	3	2.63	0.0605	58.7
	pH	5	0.44	0.8173	
	Tiempo x pH	15	0.73	0.7471	
18	Tiempo	3	2.60	0.0632	59.6
	pH	5	0.38	0.8622	
	Tiempo x pH	15	0.68	0.7889	
27	Tiempo	3	1.56	0.2109	47.1
	pH	5	7.55	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.92	0.5482	
36	Tiempo	3	2.41	0.0787	45.6
	pH	5	7.56	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	1.55	0.1241	
45	Tiempo	3	2.47	0.0732	45.3
	pH	5	7.57	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	1.56	0.1233	
54	Tiempo	3	12.81	<0.0001	26.0
	pH	5	20.27	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	5.49	<0.0001	

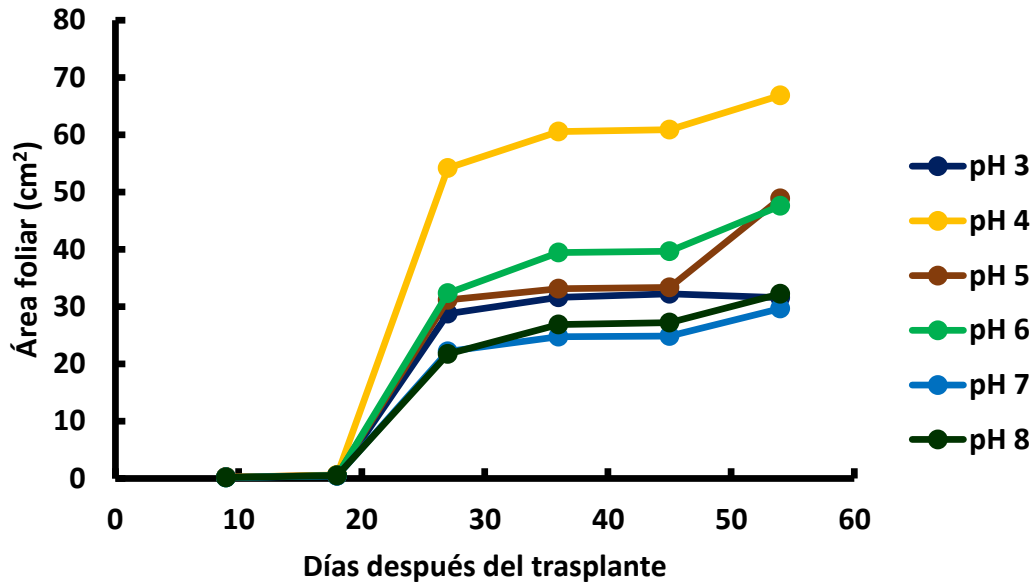


Figura 14. Área foliar en planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva.

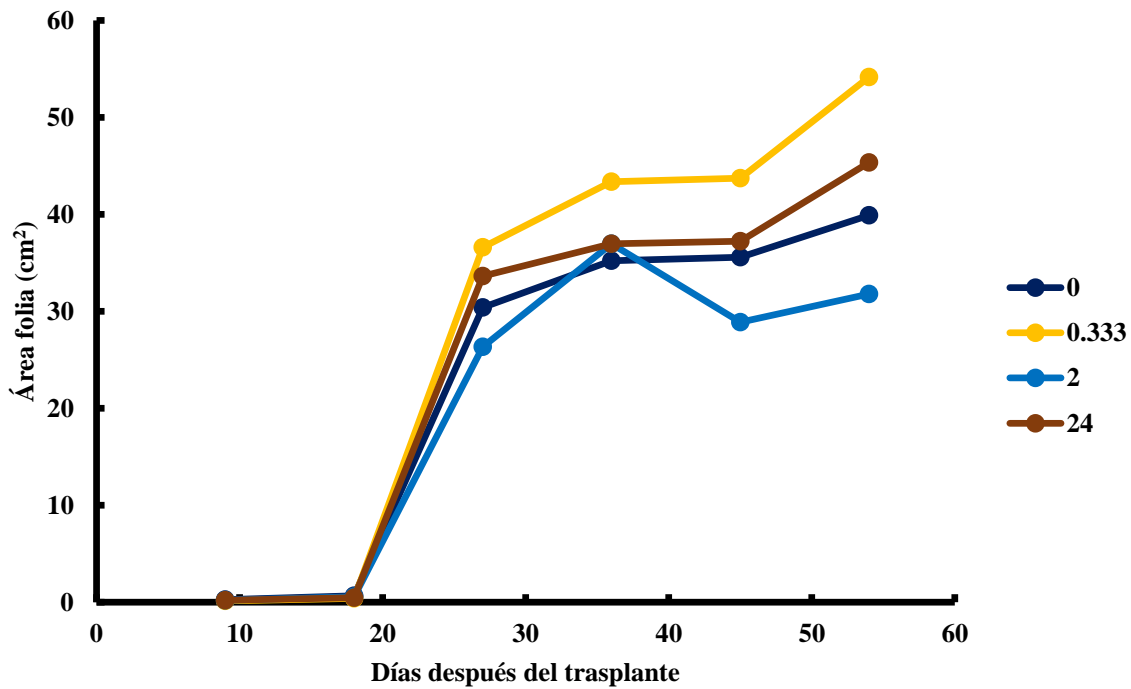


Figura 15. Área foliar en planta de planta de frijol en función tiempo de exposición en horas de los imanes.

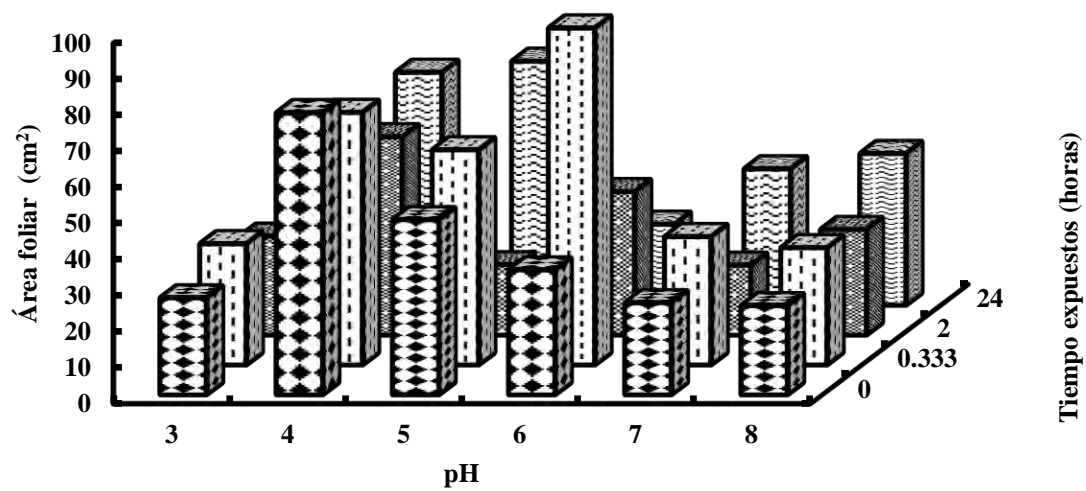


Figura 16. Área foliar final en la planta de frijol en función en la interacción de pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

Cuadro 8. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de desarrollo en la planta de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019

Variables	Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	p> t	p > F	r ²
Área foliar	Intercepto	-367.50	86.02	-4.27	<0.0001	<0.0001	0.461
	Tiempo	53.08	20.03	2.65	0.0101		
	Tiempo ²	-30.96	10.21	-3.03	0.0035		
	Tiempo ³	1.20	0.39	3.06	0.0032		
	pH	242.21	52.02	4.66	<0.0001		
	pH ²	-43.97	9.90	-4.44	<0.0001		
	pH ³	2.49	0.60	4.16	<0.0001		
Longitud de raíz	Intercepto	-20.39	7.91	-2.58	0.0121	<0.0001	0.674
	Tiempo	3.37	0.99	3.41	0.0011		
	Tiempo ²	-0.13	0.04	-3.12	0.0027		
	pH	21.14	3.05	6.93	<0.0001		
	pH ²	-2.17	0.27	-7.91	<0.0001		
Longitud de raíz	Intercepto	-86.58	29.01	-2.98	0.004	<0.0001	0.700
	Tiempo	3.37	0.96	3.52	0.0008		
	Tiempo ²	-0.13	0.04	-3.22	0.002		
	pH	62.07	17.55	3.54	0.0007		
	pH ²	-10.05	3.34	-3.01	0.0037		
	pH ³	0.48	0.20	2.37	0.021		
Longitud de raíz	Intercepto	-84.45	30.97	-2.73	0.0082	<0.0001	0.652
	Tiempo	0.29	0.07	4.18	<0.0001		
	pH	62.07	18.74	3.31	0.0015		
	pH ²	-10.05	3.57	-2.82	0.0064		
	pH ³	0.48	0.22	2.22	0.0301		
Altura de planta	Intercepto	-192.01	28.48	-6.74	<0.0001	<0.0001	0.597
	pH	122.07	17.24	7.08	<0.0001		
	pH ²	-21.54	3.28	-6.56	<0.0001		
	pH ³	1.19	0.20	5.98	<0.0001		

11.1.4 Diámetro de tallo

En el **Cuadro 9** muestra el desarrollo en el diámetro de tallo de las plantas de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de exposición de imanes de neodimio, en diferentes épocas después del trasplante(DDT). El análisis de varianza (ANDEVA) individual para el diámetro de tallo en la planta de frijol mostró diferencias altamente significativas, significativas y no significativa entre los factores principales e interacción en diferentes fechas días después del trasplante; para el factor de tiempo expuesto a los 9-27 y 54 DDT $p= 0.0001-0.0164$; excepto 36 y 45 días $p=0.2570$ y 0.1443 ; para el factor pH, 27-54 $p=0.0002-0.0073$; excepto los 9 y 18 DDT $p= 0.2354$ y 0.2669 ; interacción 27 DDT $p= 0.0004$; excepto 9-18 y 36-54 DDT $p= 0.5499 - 0.1054$ respectivamente Cuadro 10.

La Figura 17 muestra la dinámica de engrosamiento del diámetro del tallo de las plantas de frijol, bajo diferentes condiciones de pH en la solución nutritiva. Las plantas de frijol fueron más altas en el engrosamiento del diámetro de tallo cuando el pH de la solución nutritiva fue de 4, alcanzando un engrosamiento de 0.454 cm. Las plantas de frijol mostraron un engrosamiento de diámetro de tallo intermedio con pH de 5, 6 y 7, alcanzaron un engrosamiento de diámetro de tallo de 0.393, 0.399 y 0.384 cm, respectivamente (Figura 14). Las plantas de frijol presentaron un engrosamiento más bajo con pH 3 y 8, manifestando un diámetro de tallo de 0.353 y 0.367 cm. En la Figura 15 muestra el engrosamiento del diámetro de tallo de las plantas de frijol, bajo diferentes tiempos de exposición con imanes de neodimio en la solución nutritiva.

La Figura 18 muestra las plantas de frijol fueron más altas cuando el engrosamiento del diámetro de tallo con el tiempo de magnetización de 24 horas en la solución nutritiva, alcanzando con diámetro del tallo de 0.433 cm. Las plantas de frijol mostraron un engrosamiento de diámetro de tallo intermedio con el tiempo de magnetización de 0 y 2 horas, alcanzó un diámetro de tallo de 0.380 y 0.388 cm. Las plantas de frijol presentaron un diámetro de tallo más bajo fue con el tiempo de magnetización fue de 0.333 horas, alcanzando un diámetro de 0.365 cm.

La figura 19 muestra el diámetro de las plantas de frijol a los 54 DDT, en función de la interacción pH y tiempo de magnetización en la solución nutritiva, Las plantas de frijol tuvieron el diámetro más grueso cuando interacción de pH con 4 y tiempo de magnetización de 24 horas, alcanzado una máxima de 0.454 y 0.433 cm respectivamente.

El modelo que estima el área foliar en función de tiempo de magnetización y pH fue cubico ($Y = -367.50 + 53.08 \text{ tiempo} - 30.96 \text{ tiempo}^2 + 31.20 \text{ tiempo} + 42.21 \text{ pH}^2 - 43.97 \text{ pH}^2 + 2.49 \text{ pH}^3$ $p < .0001$ $R^2 = 0.461$ (Cuadro 8).

Según Osman *et al.*, (2014) Los resultados generales mostraron cambios en los caracteres de desarrollo en las plántulas que regado con agua magnetizada, los efectos fueron positivos diámetro de tallo cuando se utilizó agua magnetizada.

Cuadro 9. Medias de los efecto principal e interacciones en diámetro de tallo (cm) de planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	GDD	Tiempo expuesto/h	pH						Media
			3	4	5	6	7	8	
9	138	0	0.082 b	0.091 ab	0.087 ab	0.100 ab	0.105 a	0.085 ab	0.092 b
		0.333	0.010 a	0.008 a	0.009 a	0.008 a	0.009 a	0.009 a	0.009 c
		2	0.010 a	0.010 a	0.011 a	0.007 a	0.010 a	0.009 a	0.009 c
		24	0.117 ab	0.138 a	0.108 bc	0.133 a	0.092 c	0.109 bc	0.116 a
		Media	0.055 a	0.062 a	0.054 a	0.062 a	0.054 a	0.053 a	
18	248	0	0.153 a	0.212 a	0.192 a	0.230 a	0.142 a	0.163 a	0.182 b
		0.333	0.179 a	0.207 a	0.192 a	0.160 a	0.156 a	0.147 a	0.174 b
		2	0.207 a	0.223 a	0.173 a	0.085 a	0.234 a	0.179 a	0.183 b
		24	0.244 ab	0.270 ab	0.267 ab	0.309 a	0.249 ab	0.193 b	0.255 a
		Media	0.196 a	0.228 a	0.206 a	0.196 a	0.195 a	0.170 a	
27	359	0	0.253 a	0.312 a	0.292 a	0.330 a	0.242 a	0.024 b	0.242 a
		0.333	0.279 a	0.307 a	0.292 a	0.260 a	0.256 a	0.247 a	0.274 b
		2	0.307 a	0.323 a	0.273 ab	0.185 b	0.334 a	0.279 a	0.283 b
		24	0.344 ab	0.370 ab	0.367 ab	0.409 a	0.349 ab	0.293 b	0.355 b
		Media	0.296 a	0.328 a	0.306 a	0.296 a	0.295 a	0.211 b	
36	469	0	0.325 b	0.416 a	0.340 ab	0.356 ab	0.308 b	0.324 b	0.345 a
		0.333	0.314 ab	0.386 a	0.339 ab	0.346 ab	0.301 b	0.307 ab	0.332 a
		2	0.324 bc	0.408 a	0.342 ab	0.252 c	0.343 ab	0.315 bc	0.331 a
		24	0.335 ab	0.390 a	0.392 a	0.409 a	0.349 ab	0.284 b	0.360 a
		Media	0.325 b	0.400 a	0.353 ab	0.341 b	0.325 b	0.308 b	
45	580	0	0.399 ab	0.454 a	0.371 ab	0.388 ab	0.336 b	0.353 b	0.383 a
		0.333	0.333 b	0.421 a	0.356 ab	0.377 ab	0.328 b	0.335 b	0.358 a
		2	0.353 bc	0.445 a	0.372 ab	0.275 c	0.374 ab	0.344 bc	0.360 a
		24	0.365 a	0.425 a	0.427 a	0.446 a	0.380 a	0.310 a	0.392 a
		Media	0.363 b	0.436 a	0.381 ab	0.371 b	0.354 b	0.335 b	
54	690	0	0.350 ab	0.454 a	0.371 ab	0.417 ab	0.336 b	0.355 ab	0.380 ab
		0.333	0.347 a	0.426 a	0.356 a	0.382 a	0.344 a	0.336 a	0.365 b
		2	0.351 ab	0.445 a	0.382 ab	0.321 b	0.415 ab	0.417 ab	0.388 ab
		24	0.365 b	0.491 a	0.464 ab	0.474 a	0.441 ab	0.361 b	0.433 a
		Media	0.353 b	0.454 a	0.393 ab	0.399 ab	0.384 ab	0.367 b	

Valores con las mismas letras no son significativamente diferentes (Tukey DHS, $p \leq 0.05$).

Cuadro 10. ANDEVA para diámetro de tallo (cm) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
9	Tiempo	3	298.74	<0.0001	24.1
	pH	5	1.11	0.3692	
	Tiempo x pH	15	1.61	0.1054	
18	Tiempo	3	8.27	0.0002	28.2
	pH	5	1.32	0.2728	
	Tiempo x pH	15	1.549	0.1480	
27	Tiempo	3	13.32	<0.0001	19.2
	pH	5	6.24	0.0002	
	Tiempo x pH	15	3.53	0.0004	
36	Tiempo	3	1.39	0.2570	14.2
	pH	5	5.33	0.0006	
	Tiempo x pH	15	1.25	0.2710	
45	Tiempo	3	1.89	0.1443	13.9
	pH	5	5.29	0.0006	
	Tiempo x pH	15	1.42	0.1778	
54	Tiempo	3	3.77	0.0164	16.2
	pH	5	3.63	0.0073	
	Tiempo x pH	15	0.92	0.5499	

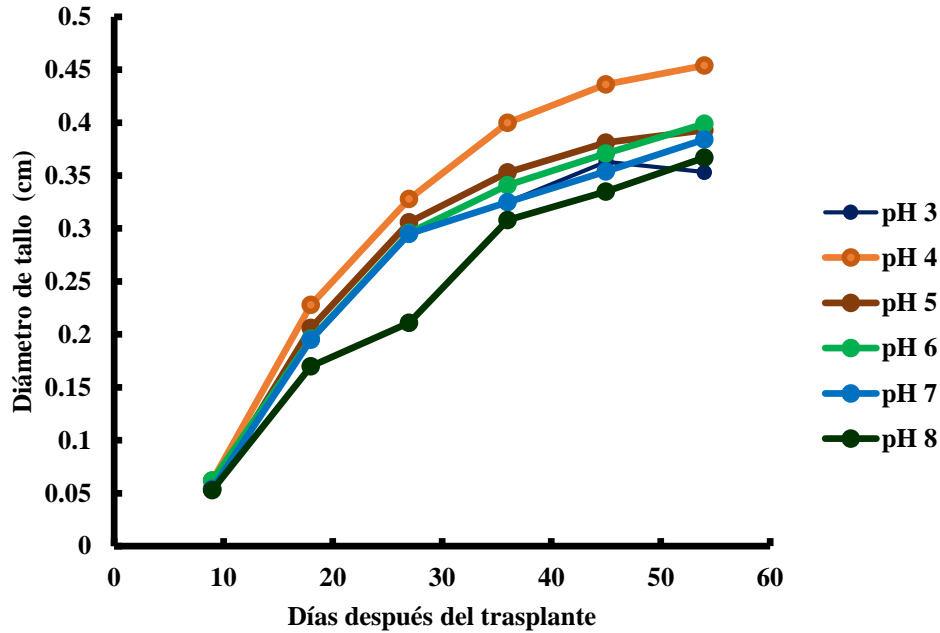


Figura 17. Diámetro de tallo final en la planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de exposición en horas de los

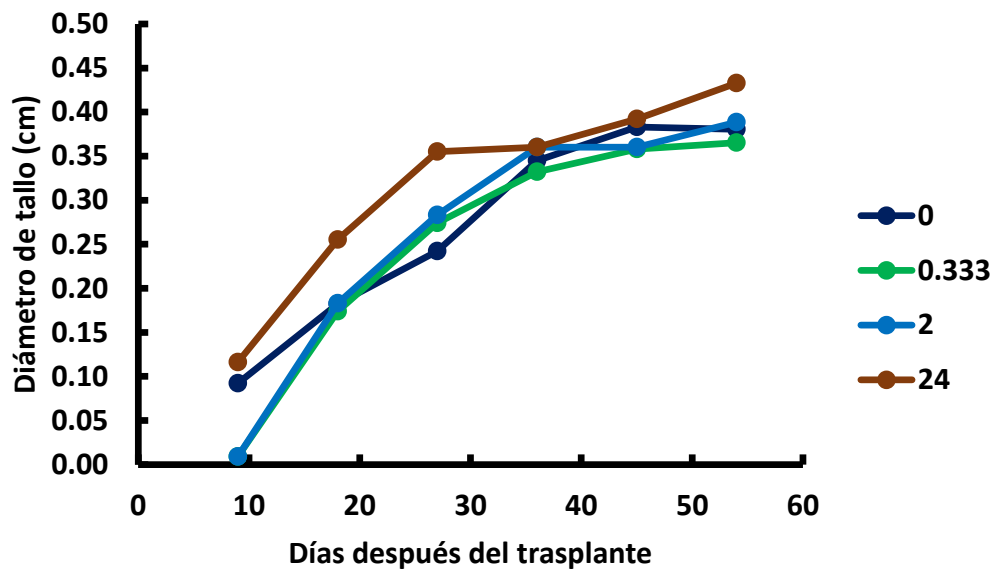


Figura 18. Diámetro de tallo de planta de frijol en función de tiempo de magnetización en la solución nutritiva.

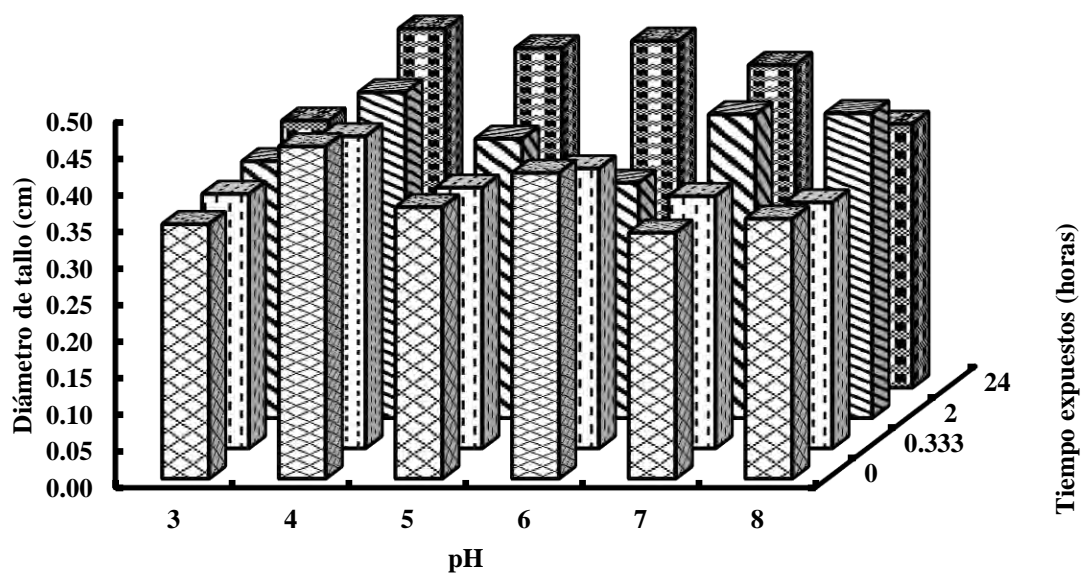


Figura 19. Área foliar final en planta de frijol en función en la interacción de pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

11.1.5 Número de hojas por planta

En el **Cuadro 11** muestra el desarrollo en número de hojas por plantas de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de exposición de imanes de neodimio, en diferentes épocas después del trasplante(DDT). El análisis de varianza (ANDEVA) individual para el número de hojas por planta de frijol mostró diferencias significativas, altamente significativa y no significativa entre los factores principales e interacción en diferentes fechas días después del trasplante; para el factor de tiempo expuesto a los 9-18 y 54 DDT $p=0.0003 - 0.0187$; exceptos 27- 45DDT $p=0.1869 - 0.3422$, para el factor pH 18 - 54 DDT $p=0.0001 - 0.0021$; excepto 9 DDT $p= 0.3678$; para la interacción de los dos factores 9 - 54 DDT $p= 0.1241 - 0.4781$ respectivamente (cuadro 12).

En la Figura 20 muestra la dinámica de número de hojas en altura de las plantas de frijol, bajo diferentes condiciones de pH en la solución nutritiva. Las plantas de frijol con mayor número de hojas fue cuando el pH de la solución nutritiva fue de 5, alcanzó una máxima de número de hojas de 20.9 por plantas. Las plantas de frijol con mayor número de hojas intermedio fueron con el pH de 3, 4, y 6, alcanzando una cuantía de hojas de 18.9, 19.4 y 18.6 por plantas de frijol, respectivamente. Las plantas de frijol presentaron una producción de menor más bajo con pH de 7 y 8, alcanzando un total de número de hojas de 16.6 y 15.5 por planta.

En la Figura 21 muestra la dinámica de número de hojas producido en las plantas de frijol, bajo diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva.

Las plantas de frijol fueron con más número de hojas cuando el tiempo de magnetización fue 24 horas en la solución nutritiva, alcanzando una cantidad de hojas máxima de 19.6 hojas por plantas. Las plantas de frijol que obtuvieron números de hojas intermedio con el tiempo de

magnetización de 0.333 y 2 horas, obteniendo una producción de hojas de 17.9 y 18.8 por plantas respectivamente. Las plantas de frijol presentaron número de hojas más bajo con el tiempo de magnetización de 0 horas, alcanzando una sumatoria de hojas de 17.0 hojas por planta.

En la Figura 22 el número de hojas final de las plantas de frijol, a los 54 días después del trasplante (DDT), en función del pH y tiempo de exposición en la solución nutritiva. Las plantas de frijol con mayor número de hojas fueron cuando hubo interacción del pH 5 y tiempo de magnetización en la solución nutritiva de 24 horas, alcanzaron su máxima producción de número de hojas de 20.9 y 19.6 por plantas respectiva mente.

Para esta variable el análisis no encontró un modelo significativo y una predicción confiable para el número de hojas en función de tiempo de magnetización y pH.

Según Osman *et al.*, (2014); El-Gizawy A.M., M. E. Ragab, Nesreen A. S. Helal, (2016) menciona que las plantas de papa tratadas por campo magnético durante 10 minutos produjo los valores significativos más altos para el número de hojas por planta.

Cuadro 11. Medias de los efecto principal e interacciones en número de hojas por planta en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	GDD	Tiempo expuesto/h	pH						Media
			3	4	5	6	7	8	
9	138	0	9.3 a	11.0 a	12.3 a	9.8 a	10.3 a	13.1 a	11.0 a
		0.333	12.7 a	11.0 a	11.0 a	13.0 a	9.8 a	10.2 a	11.3 ab
		2	13.0 a	11.0 a	11.3 a	11.3 a	10.5 a	10.0 a	11.2 b
		24	10.1 b	14.2 ab	16.2 a	15.7 a	13.7 ab	10.3 b	13.4 b
		Media	11.3 a	11.8 a	12.7 a	12.4 a	11.1 a	10.9 a	
18	248	0	10.7 ab	13.0 a	12.5 ab	12.8 ab	9.4 b	9.4 b	11.3 b
		0.333	14.4 abc	14.0 abc	14.6 ab	16.1 a	10.8 c	11.7 c	13.6 a
		2	15.0 a	14.7	13.4 ab	12.2 ab	12.3 ab	10.8 b	13.1 ab
		24	12.0 dc	16.3 ab	18.3 a	15.3 abc	13.9 dc	11.4 d	14.6 a
		Media	13.0 abc	14.5 a	14.7 a	14.1 ab	11.6 bc	10.8 c	
27	359	0	13.8 a	16.7 a	13.8 a	13.7 a	13.1 a	15.0 a	14.3 a
		0.333	15.8 a	15.9 a	15.9 a	16.2 a	11.0 b	13.0 ab	14.6 a
		2	15.9 ab	17.1 a	15.6 abc	13.3 abc	12.8 bc	11.8 c	14.4 a
		24	16.0 ab	17.1 ab	18.8 a	16.0 ab	15.1 bc	12.3 c	15.9 a
		Media	15.4 abc	16.7 a	16.0 ab	14.8 abc	13.0 c	13.0 bc	
36	469	0	16.1 a	17.6 a	16.3 a	15.4 a	15.4 a	16.2 a	16.2 a
		0.333	18.0 a	16.2 ab	18.8 a	17.3 a	12.1 c	13.3 bc	16.0 a
		2	17.3 a	17.3 a	16.7 a	14.3 a	15.2 a	14.7 a	15.9 a
		24	18.0 a	17.9 a	20.3 a	17.8 a	16.5 ab	13.0 b	17.2 a
		Media	17.4 ab	17.3 abc	18.0 a	16.2 abc	14.8 bc	14.3 c	
45	580	0	16.1 a	19.0 a	17.6 a	16.6 a	16.6 a	15.1 a	16.9 a
		0.333	19.4 a	17.5 ab	20.3 a	18.7 a	13.1 c	14.4 bc	17.2 a
		2	18.7 a	18.7 a	18.0 a	15.4 a	16.4 a	15.8 a	17.2 a
		24	19.4 a	19.3 a	21.9 a	19.2 a	17.8 ab	14.0 b	18.6 a
		Media	18.4 ab	18.6 ab	19.5 a	17.5 abc	16.0 bc	14.9 c	
54	690	0	15.7 b	19.8 a	18.3 ab	17.3 ab	14.9 b	16.0 ab	17.0 b
		0.333	20.2 a	18.2 ab	21.1 a	19.5 b	13.6 c	15.0 bc	17.9 ab
		2	19.5 ab	19.5 ab	21.6 a	17.8 b	17.8 b	16.5 b	18.8 ab
		24	20.2 a	20.1 a	22.8 a	20.0 a	20.2 a	14.6 b	19.6 a
		Media	18.9 ab	19.4 ab	20.9 a	18.6 ab	16.6 bc	15.5 c	

Valores con las mismas letras no son significativamente diferentes (Tukey DHS, $p \leq 0.05$).

Cuadro 12. ANDEVA para número de hojas por plantas en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
9	Tiempo	3	3.66	0.0187	21.0
	pH	5	1.11	0.3678	
	Tiempo x pH	15	1.55	0.1241	
18	Tiempo	3	7.47	0.0003	16.2
	pH	5	6.89	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	1.31	0.2336	
27	Tiempo	3	1.62	0.1981	16.3
	pH	5	4.80	0.0012	
	Tiempo x pH	15	0.99	0.4781	
36	Tiempo	3	1.14	0.3422	15.1
	pH	5	4.46	0.0021	
	Tiempo x pH	15	1.05	0.4226	
45	Tiempo	3	1.67	0.1869	14.6
	pH	5	5.62	0.0004	
	Tiempo x pH	15	1.04	0.4359	
54	Tiempo	3	4.52	0.0072	12.3
	pH	5	9.01	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	1.47	0.1544	

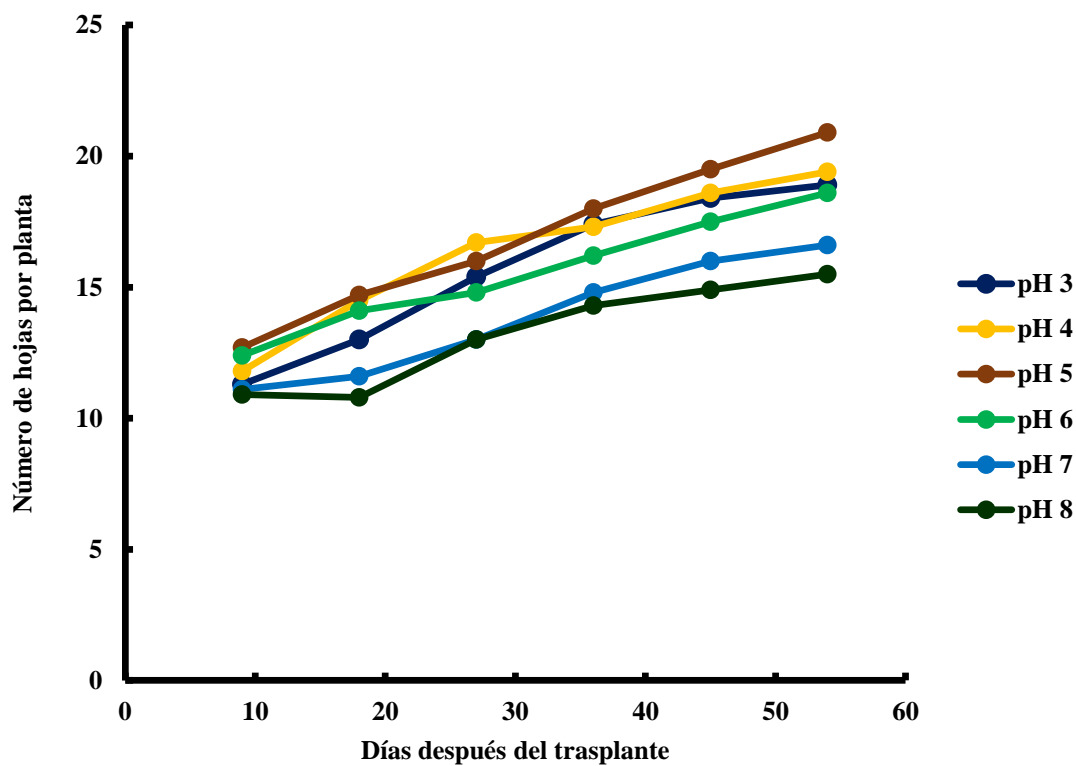


Figura 20. Número de hojas en la planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva.

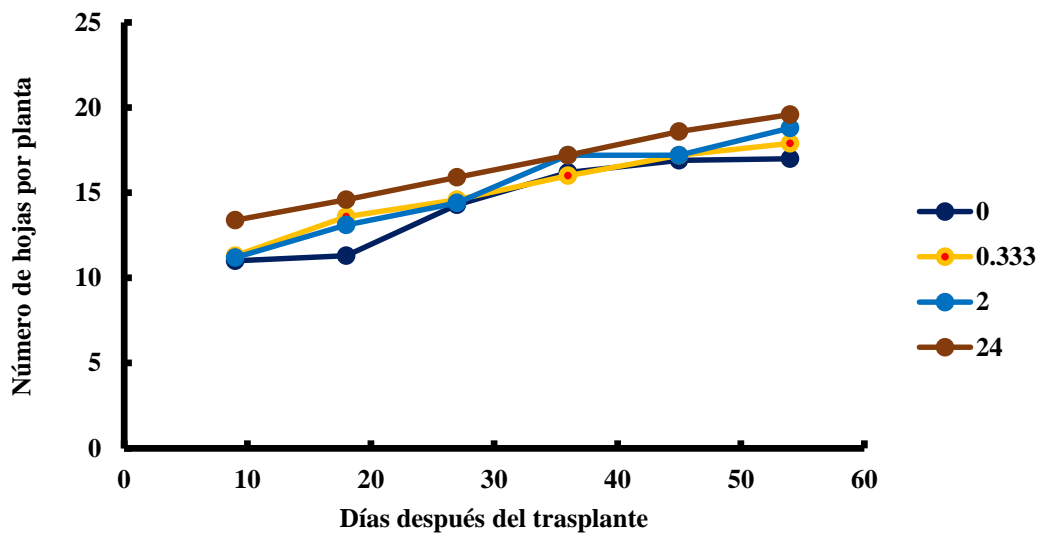


Figura 21. Numero de hojas por planta final planta de frijol en función de tiempo de exposición en horas de los imanes.

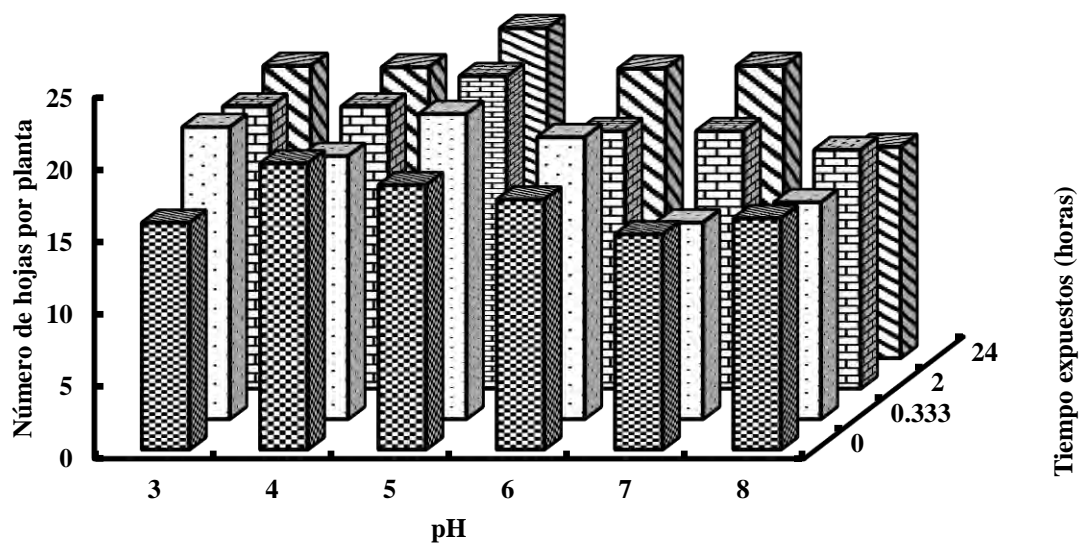


Figura 22. Número de hojas en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

11.2 Componente de crecimiento

11.2.1 Biomasa aérea, peso de raíz y biomasa total

En el Cuadro 13 muestra el en componente de crecimiento de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de exposición de imanes de neodimio, en diferentes componentes de biomasa área (**B**), peso de raíz (**PR**) y biomasa total (**BT**). El análisis de varianza (**ANDEVA**) individual en **B**, **PR** y **BT** mostró diferencias significativas, altamente significativa en los factores principales e interacción en los diferentes componentes; para el factor tiempo en **B**, **PR**, **BT** tiempo $p=0.0014$; pH $p=<0.0001$; interacción $p=<0.0001$, respectivamente.

En la Figura 23-25 muestra biomasa aérea, peso de raíz y biomasa total, producida en las plantas de frijol, en función de interacción del pH y tiempo de magnetización en la solución nutritiva.

Las plantas de frijol que produjeron más biomasa aérea, peso de raíz y biomasa total fue cuando hubo la interacción en el pH de la solución nutritiva 4, 5; 4 y 4, alcanzaron una máxima de pesos de 8.93, 8.88; 1.81; 10.25 y 10.70 gramos y un tiempo de magnetización fue de 24; 2 y 24; y 2 horas alcanzaron su máxima producción de 7.58; 1.16 y 1.15; 8.74 gramos por plantas respectivamente. El modelo que estima en la producción de materia seca aérea de frijol en función de tiempo de magnetización y pH biomasa aérea es de regresión múltiples ($Y=-69.47-7.36 \text{ tiempo}+4.41 \text{ tiempo}^2-0.17 \text{ tiempo}^3+43.18 \text{ pH}-7.62 \text{ pH}^2+0.42 \text{ pH}^3$, $p=<0.0001$, $R^2=0.655$; $Y=-70.55+1.30 \text{ tiempo}-0.05 \text{ tiempo}^2+43.18 \text{ pH}-7.62 \text{ pH}^2+0.42 \text{ pH}^3$, $p=<0.0001$, $R^2=0.575$) para el modelo pesos de raíz producido en función de tiempo de magnetización y pH fue cubico ($Y=-12.14+7.43 \text{ pH}-1.29 \text{ pH}^2+0.07 \text{ pH}^3$, $p=<0.0001$,

$R^2=0.576$); para el modelo de producción de biomasa total en función de tiempo de magnetización y pH fue multivariables ($Y=-81.61-8.06 \text{ tiempo}+4.81 \text{ tiempo}^2-0.19 \text{ tiempo}^3+50.61 \text{ pH}-8.91 \text{ pH}^2+0.49 \text{ pH}^3$, $p<0.0001$, $R^2=0.693$; $Y=-82.79+1.39 \text{ tiempo}-0.05 \text{ tiempo}^2+50.61 \text{ pH}-8.91 \text{ pH}^2+0.49 \text{ pH}^3$, $p<0.0001$, $R^2=0.619$ cuadro 15).

De acuerdo con(Vashisth and Joshi, 2017; Liu *et al.*, 2019) hubo mejor producción de biomasa aérea, pesos seco de raíz seco y biomasa total, junto con el tiempo de exposición durante 1 hora aumento significativo, por otra parte (Tosquy-Valle *et al.*, 2020) en un ensayo en donde modifíco el pH del suelo y varios genotipos de frijol de grano negro, detectó diferencias estadísticas entre tratamientos en todas las variables, excepto en la producción de materia seca sin grano

Cuadro 13. Medias de los efecto principal e interacciones en biomasa total(g), peso raíz (g) y biomasa total(g) de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

Variables	Tiempo expuesto/h	pH						Media
		3	4	5	6	7	8	
Biomasa área	0	2.20 d	9.53 a	7.00 b	6.60 b	6.60 b	4.30 c	6.04 b
	0.333	1.99 c	6.30 a	5.10 a	4.77 ab	3.03 c	3.23 bc	4.07 c
	2	3.47 c	10.10 b	13.59 a	4.51 c	9.39 b	4.42 c	7.58 a
	24	3.0 d	9.8 a	9.8 a	5.7 cb	4.1 cd	6.4 b	6.46 b
	Media	2.66 c	8.93 a	8.88 a	5.39 b	5.77 b	4.59 b	
Peso de raíz	0	0.30 d	1.20 abc	1.53 a	1.13 bc	1.37 ab	0.87 c	1.07 ab
	0.333	0.50 b	0.83 b	2.00 a	0.70 b	0.63 b	0.60 b	0.88 b
	2	0.40 d	1.53 ab	1.90 a	1.30 bc	1.10 c	0.70 d	1.16 a
	24	0.70 c	1.70 a	1.80 a	0.90 bc	0.60 c	1.10 b	1.15 a
	Media	0.48 d	1.32 b	1.81 a	1.02 c	0.93 c	0.82 c	
Biomasa total	0	2.50 d	10.73 a	8.53 b	7.73 b	7.97 b	5.17 c	7.11 b
	0.333	2.49 c	7.13 a	7.10 a	5.47 ab	3.67 c	3.83 bc	4.95 c
	2	3.87 d	11.63 b	15.49 a	5.81 c	10.49 b	5.12 cd	8.74 a
	24	3.7 c	11.5 a	11.7 a	6.6 b	4.7 c	7.5 b	7.61 b
	Media	3.14 c	10.25 a	10.70 a	6.40 b	6.71 b	5.40 b	

Cuadro 14. ANDEVA para biomasa área (g), peso de raíz (g) y biomasa total(g) en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

Variables	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
Biomasa	Tiempo	3	36.53	<0.0001	17.0
	pH	5	69.22	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	8.59	<0.0001	
Peso de raíz	Tiempo	3	6.05	0.0014	21.0
	pH	5	50.42	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	4.37	<0.0001	
Biomasa total	Tiempo	3	39.37	<0.0001	15.1
	pH	5	87.57	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	8.76	<0.0001	

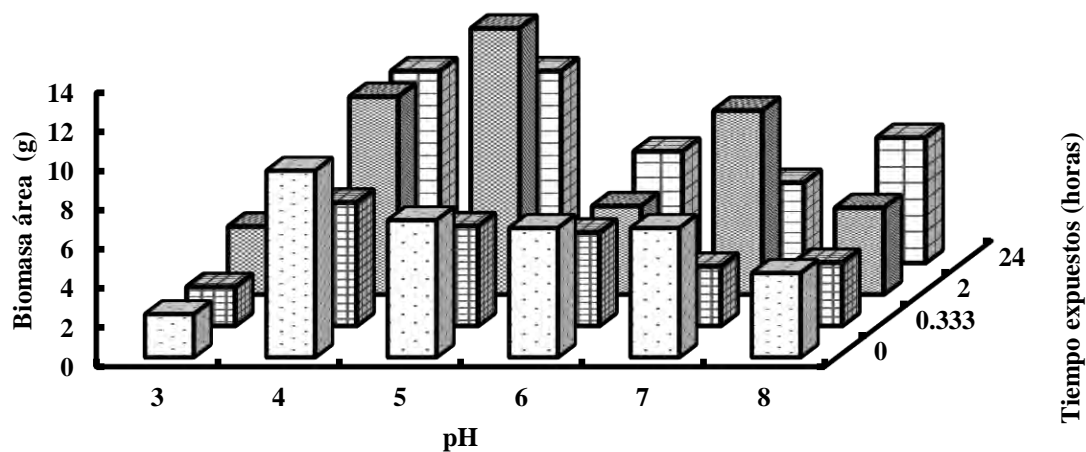


Figura 23. Biomasa área en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

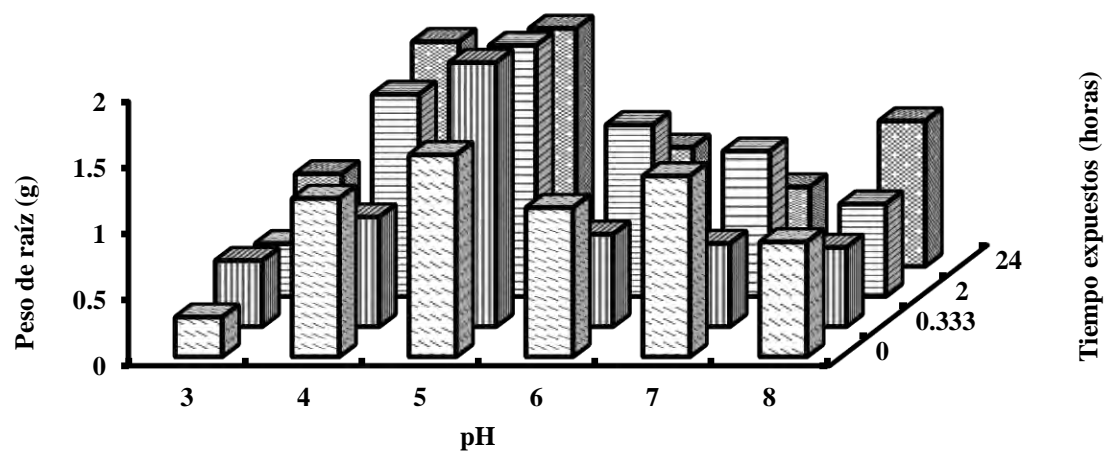


Figura 24. Peso de raíz en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

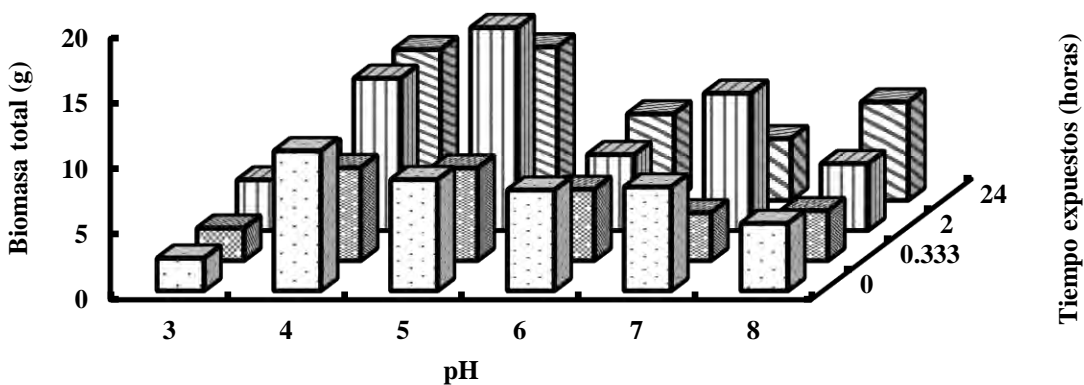


Figura 25. Biomasa total en la planta de frijol en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

Cuadro 15. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de rendimiento de semilla de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

VARIABLES	Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	P > t	P > F	R ²
Biomasa área	Intercepto	-69.47	9.71	-7.15	<0.0001	<0.0001	0.655
	Tiempo	-7.36	2.26	-3.26	0.0018		
	Tiempo ²	4.41	1.15	3.82	0.0003		
	Tiempo ³	-0.17	0.04	-3.87	0.0003		
	pH	43.18	5.87	7.35	<0.0001		
	pH ²	-7.62	1.12	-6.82	<0.0001		
	pH ³	0.42	0.07	6.27	<0.0001		
Biomasa área	Intercepto	-70.55	10.68	-6.60	<0.0001	<0.0001	0.575
	Tiempo	1.30	0.35	3.68	0.0005		
	Tiempo ²	-0.05	0.01	-3.60	0.0006		
	pH	43.18	6.46	6.68	<0.0001		
	pH ²	-7.62	1.23	-6.19	<0.0001		
	pH ³	0.42	0.07	5.70	<0.0001		
Biomasa total	Intercepto	-81.61	10.32	-7.91	<0.0001	<0.0001	0.693
	Tiempo	-8.06	2.40	-3.36	0.0013		
	Tiempo ²	4.81	1.22	3.93	0.0002		
	Tiempo ³	-0.19	0.05	-3.97	0.0002		
	pH	50.61	6.24	8.11	<0.0001		
	pH ²	-8.91	1.19	-7.50	<0.0001		
Biomasa total	Intercepto	-82.79	11.41	-7.26	<0.0001	<0.0001	0.619
	Tiempo	1.39	0.38	3.68	0.0005		
	Tiempo ²	-0.05	0.02	-3.59	0.0006		
	pH	50.61	6.90	7.33	<0.0001		
	pH ²	-8.91	1.31	-6.78	<0.0001		
	pH ³	0.49	0.08	6.22	<0.0001		
Peso de raíz	Intercepto	-12.14	1.79	-6.80	<0.0001	<0.0001	0.576
	pH	7.43	1.08	6.87	<0.0001		
	pH ²	-1.29	0.21	-6.27	<0.0001		
	pH ³	0.07	0.01	5.67	<0.0001		

11.3 Componente de rendimiento de semilla

11.3.1 Rendimiento de semilla, índice de cosecha, número de vainas por planta y número de grano por planta

En el Cuadro 16 muestra en el componente de producción de semilla de las plantas de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de magnetización en diferentes componentes de rendimiento de semilla (**RS**), Índice de cosecha (**IC**), número de vainas por planta (**NV**), número de grano por vainas (**NG**). El análisis de varianza (**ANDEVA**) individual en **RS**, **IC**, **NV** y **NG** mostró diferencias significativas, altamente significativa y no significa entre los factores principales e interacción en los diferentes componentes; para el factor tiempo **RS**, **IC**, **NV**, **NG** $p < 0.0001$ excepto en **IC** $p = 0.1778$, para pH todas fueron con una $p < 0.0001$; interacción $p < 0.0001$ excepto **NG** = 0.9782 Cuadro 17).

Las plantas de frijol que produjeron más rendimiento de semilla, índice de cosecha, número de vainas por planta y número de grano por planta, fue cuando hubo la interacción en el pH de la solución nutritiva 4; 4; 4, 5 y 6; 5 alcanzaron una máxima de 2.46 gramos por planta; 32.45 %; 11.0, 12.17 y 11.08 vainas por planta; 5.67 granos por vainas y un tiempo de magnetización fue de 2; 24; 24 y de 0.333-24 horas, alcanzaron su máxima producción de 2.04 gramos; 27.88%; 10.67 vainas por planta; 4.50-5.06 granos por vaina, respectivamente Cuadro 16. El modelo que estima el rendimiento de semilla en función de tiempo de magnetización y pH fueron; cubico y multiregresiones ($Y = -24.27 - 2.50 \text{ tiempo} + 1.45 \text{ tiempo}^2 - 0.06 \text{ tiempo}^3 + 14.83 \text{ pH} - 2.61 \text{ pH}^2 + 0.14 \text{ pH}^3$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.708$; $Y = -24.28 + 14.83 \text{ pH} - 2.61 \text{ pH}^2 + 0.14 \text{ pH}^3$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.544$; $Y = -24.63 + 0.35 \text{ tiempo} - 0.01 \text{ tiempo}^2 + 14.83 \text{ pH} - 2.61 \text{ pH}^2 + 0.14 \text{ pH}^3$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.628$; $Y = -24.40 + 0.02 \text{ tiempo} + 14.83 \text{ pH} - 2.61 \text{ pH}^2 + 0.14 \text{ pH}^3$,

$p < 0.0001$, $R^2 = 0.576$; para el modelo número de grano por vainas en función de tiempo de magnetización y pH fue cubico y multiregresión $Y = -31.25 + 2.34 \text{ tiempo} - 1.04 \text{ tiempo}^2 + 0.04 \text{ tiempo}^3 + 18.77 \text{ pH} - 3.12 \text{ pH}^2 + 0.17 \text{ pH}^3$; $Y = -31.00 + 0.34 \text{ tiempo} - 0.01 \text{ tiempo}^2 + 18.77 \text{ pH} - 3.12 \text{ pH}^2 + 0.17 \text{ pH}^3$ $p < 0.0001$, $R^2 = 0.801$; $Y = -8.11 + 0.34 \text{ tiempo} - 0.01 \text{ tiempo}^2 + 4.62 \text{ pH} - 0.40 \text{ pH}^2$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.654$; $Y = -4.39 + 0.34 \text{ tiempo} - 0.01 \text{ tiempo}^2 + 2.44 \text{ pH} - 0.02 \text{ pH}^3$ $p < 0.0001$, $R^2 = 0.609$; $Y = -30.78 + 0.03 \text{ tiempo} + 18.77 \text{ pH} - 3.12 \text{ pH}^2 + 0.17 \text{ pH}^3$ $p < 0.0001$, $R^2 = 0.778$; $Y = -30.57 + 18.77 \text{ pH} - 3.12 \text{ pH}^2 + 0.17 \text{ pH}^3$ $p < 0.0001$, $R^2 = 0.723$; para el modelo de números de vainas por planta en función de tiempo magnetización y pH fue cuadrática $Y = -33.00 + 16.80 \text{ pH} - 1.55 \text{ pH}^2$, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.650$ cuadro 18).

Según Selim *et al.*, (2019) el riego con agua magnética vencida o aliviada los efectos adversos del estrés por sequía en todos los rasgos estudiados. Adicionalmente, Después de la aplicación de agua magnética, el rendimiento de grano en dos cultivares aumentó aproximadamente 2-3 veces en comparación con las condiciones de control. Sería una iniciativa según (Teixeira y Dobránszki, 2014; Sadeghipour, 2016; Zuñiga *et al.*, 2018; Nyakane, Markus and Sedibe, 2019) la solución nutritiva magnetizada es una de las opciones para el desafío de producir más alimentos y usar la mínimo cantidad de agua e incrementar el rendimiento de semilla, utilizando estos procesos.

Cuadro 16. Medias de los efecto principal e interacciones en para rendimiento de semilla (g), índice de cosecha (%), numero de grano por planta y numero de vainas por planta en planta de frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

Variables	Tiempo expuesto/h	pH						Media
		3	4	5	6	7	8	
Rendimiento de semilla (g)	0	0.40 e	2.60 a	2.20 b	1.60 c	2.08 b	1.20 d	1.68 c
	0.333	0.49 d	1.63 a	1.27 b	1.37 b	0.60 cd	0.67 c	1.00 d
	2	0.42 e	3.43 a	3.13 b	1.26 d	2.75 c	1.26 d	2.04 a
	24	0.60 f	3.80 a	3.20 b	1.80 c	1.00 e	1.30 d	1.95 b
	Media	0.47 f	2.86 a	2.46 b	1.52 d	1.62 c	1.10 e	
Índice de cosecha (%)	0	18.54 b	30.58 a	31.46 a	24.26 ab	31.53 a	28.21 a	27.43 a
	0.333	28.17 ab	25.97 abc	24.88 abc	28.71 a	19.89 c	20.70 bc	24.72 a
	2	12.28 c	34.80 a	23.20 b	28.15 ab	30.27 ab	28.78 ab	26.25 a
	24	18.3 c	38.5 a	32.9 ab	32.3 ab	25.5 bc	19.9 c	27.88 a
	Media	19.33 c	32.45 a	28.10 ab	28.35 ab	26.79 b	24.40 bc	
Número de vainas por planta	0	4.33 dc	6.33 ab	7.67 a	7.00 a	5.00 bc	3.00 d	5.56 c
	0.333	1.67 c	9.33 b	14.00 a	13.00 a	9.00 b	2.00 c	8.17 b
	2	3.00 c	11.33 ab	12.00 a	10.67 ab	10.00 b	2.00 c	8.17 b
	24	2.0 d	17.0 a	15.0 b	13.7 cb	13.0 c	3.3 d	10.67 a
	Media	2.75 c	11.00 a	12.17 a	11.08 a	9.25 b	2.58 c	
Número de grano por vainas	0	1.33 c	4.67 a	4.67 a	4.67 a	4.33 ab	3.33 b	3.83 b
	0.333	1.67 c	5.33 ab	6.00 a	5.00 ab	4.67 b	4.33 b	4.50 a
	2	2.33 d	5.67 ab	6.00 a	5.00 abc	4.67 bc	4.33 c	4.67 a
	24	2.70 c	6.00 a	6.00 a	5.70 ab	5.30 ab	4.70 b	5.06 a
	Media	2.00 d	5.42 ab	5.67 a	5.08 ab	4.75 bc	4.17 c	

Cuadro 17. ANDEVA para rendimiento de semilla (g), índice de cosecha (%), número de grano por planta y número de vainas por planta en frijol en función de tiempo de exposición y pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

Variables	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
Rendimiento de semilla (g)	Tiempo	3	715.06	<0.0001	4.4
	pH	5	1674.42	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	168.96	<0.0001	
Índice de cosecha (%)	Tiempo	3	1.71	0.1778	17.2
	pH	5	11.10	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	4.12	<0.0001	
Número de vainas por planta	Tiempo	3	65.87	<0.0001	13.4
	pH	5	190.02	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	13.38	<0.0001	
Número de grano por vainas	Tiempo	3	11.23	<0.0001	14.3
	pH	5	51.63	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.38	0.9782	

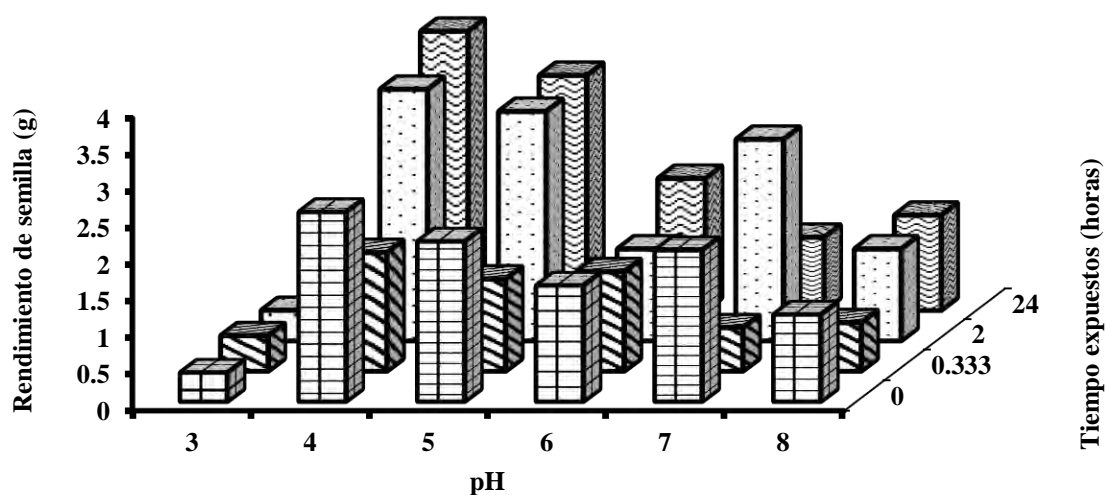


Figura 26. Rendimiento de semilla en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

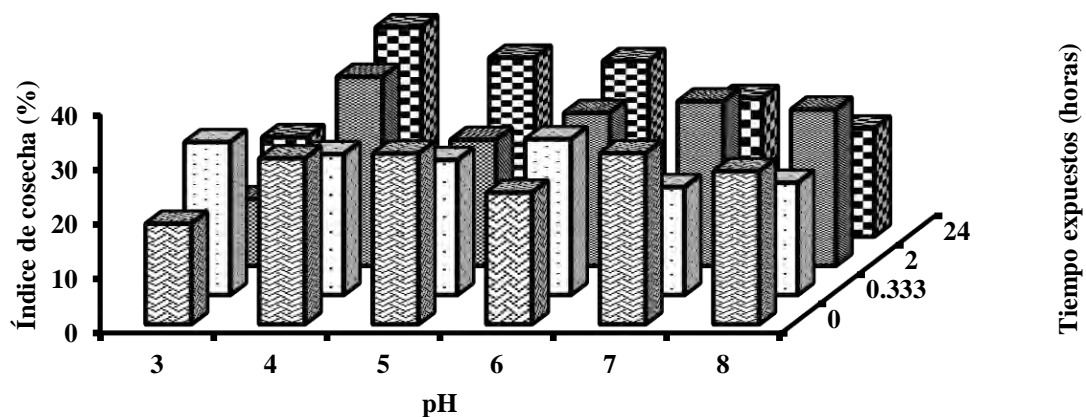


Figura 27. Índice de cosecha en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

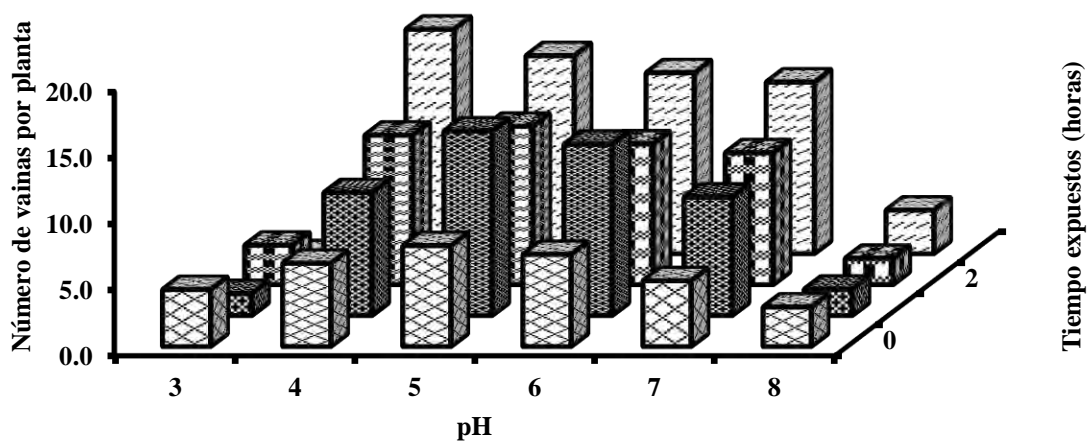


Figura 28. Número de vainas por planta en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

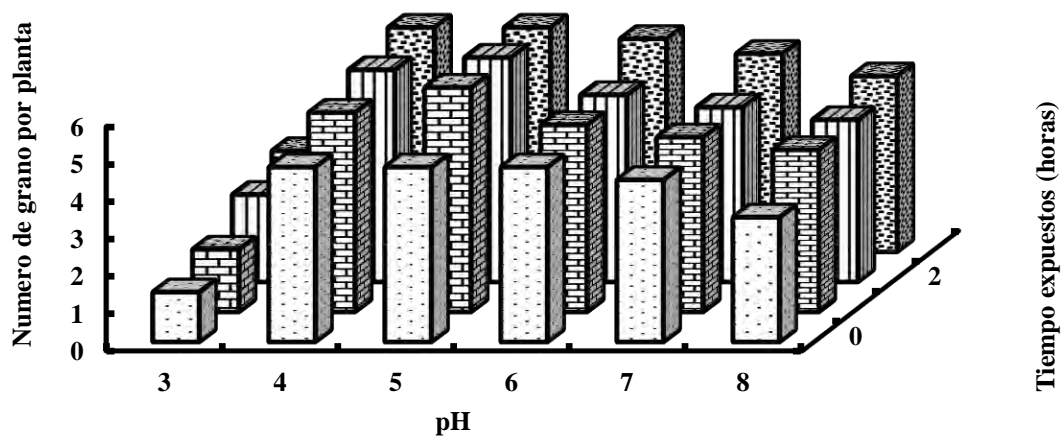


Figura 29. Número de grano por vainas en función de la interacción de pH con tiempo de magnetización.

Cuadro 18. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de rendimiento de semilla de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

VARIABLES	Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	P > t	P > F	R ²
Rendimiento de semilla	Intercepto	-24.27	2.93	-8.27	<0.0001	<.0001	0.708
	Tiempo	-2.50	0.68	-3.66	0.0005		
	Tiempo ²	1.45	0.35	4.18	<0.0001		
	Tiempo ³	-0.06	0.01	-4.21	<0.0001		
	pH	14.83	1.77	8.35	<0.0001		
	pH ²	-2.61	0.34	-7.73	<0.0001		
	pH ³	0.14	0.02	7.09	<0.0001		
Rendimiento de semilla	Intercepto	-24.28	3.58	-6.78	<0.0001	<.0001	0.544
	pH	14.83	2.17	6.84	<0.0001		
	pH ²	-2.61	0.41	-6.33	<0.0001		
	pH ³	0.14	0.02	5.80	<0.0001		
Rendimiento de semilla	Intercepto	-24.63	3.28	-7.50	<0.0001	<0.0001	0.628
	Tiempo	0.35	0.11	3.20	0.0021		
	Tiempo ²	-0.01	0.00	-3.04	0.0034		
	pH	14.83	1.99	7.46	<0.0001		
	pH ²	-2.61	0.38	-6.90	<0.0001		
	pH ³	0.14	0.02	6.33	<0.0001		
Rendimiento de semilla	Intercepto	-24.40	3.48	-7.01	<0.0001	<0.0001	0.576
	Tiempo	0.02	0.01	2.24	0.0287		
	pH	14.83	2.11	7.04	<0.0001		
	pH ²	-2.61	0.40	-6.51	<0.0001		
	pH ³	0.14	0.02	5.97	<0.0001		
Número de grano por vainas	Intercepto	-31.25	3.25	-9.62	<0.0001	<0.0001	0.821
	Tiempo	2.34	0.76	3.10	0.0029		
	Tiempo ²	-1.04	0.39	-2.70	0.0087		
	Tiempo ³	0.04	0.01	2.67	0.0095		
	pH	18.77	1.96	9.55	<0.0001		
	pH ²	-3.12	0.37	-8.35	<0.0001		
	pH ³	0.17	0.02	7.31	<0.0001		
Número de grano por vainas	Intercepto	-31.00	3.40	-9.13	<0.0001	<0.0001	0.801
	Tiempo	0.34	0.11	3.07	0.0031		

	Tiempo ²	-0.01	0.00	-2.79	0.0069		
	pH	18.77	2.05	9.14	<0.0001		
	pH ²	-3.12	0.39	-7.99	<0.0001		
	pH ³	0.17	0.02	6.99	<0.0001		
Número de grano por vainas	Intercepto	-8.11	1.17	-6.92	<0.0001	<0.0001	0.654
	Tiempo	0.34	0.15	2.35	0.0218		
	Tiempo ²	-0.01	0.01	-2.13	0.0368		
	pH	4.62	0.45	10.22	<0.0001		
	pH ²	-0.40	0.04	-9.79	<0.0001		
Número de grano por vainas	Intercepto	-4.39	0.90	-4.85	<0.0001	<0.0001	0.609
	Tiempo	0.34	0.16	2.21	0.0306		
	Tiempo ²	-0.01	0.01	-2.00	0.0491		
	pH	2.44	0.26	9.42	<0.0001		
	pH ³	-0.02	0.00	-8.78	<0.0001		
Número de grano por vainas	Intercepto	-30.78	3.56	-8.64	<0.0001	<0.0001	0.778
	Tiempo	0.03	0.01	4.05	0.0001		
	pH	18.77	2.16	8.71	<0.0001		
	pH ²	-3.12	0.41	-7.61	<0.0001		
	pH ³	0.17	0.02	6.66	<0.0001		
Número de grano por vainas	Intercepto	-30.57	3.94	-7.75	<0.0001	<0.0001	0.723
	pH	18.77	2.39	7.86	<0.0001		
	pH ²	-3.12	0.45	-6.87	<0.0001		
	pH ³	0.17	0.03	6.01	<0.0001		
Número de vainas	Intercepto	-33.00	3.92	-8.41	<0.0001	<0.0001	0.650
	pH	16.80	1.52	11.04	<0.0001		
	pH ²	-1.55	0.14	-11.27	<0.0001		

11.4 Cambio del pH en la solución nutritiva a través del tiempo.

En el **Cuadro 19** muestra los cambios en los diferentes pH en la solución nutritiva en las raíces a través del tiempo 60 DDT de la planta de frijol, bajo diferentes valores de pH en la solución nutritiva y tiempos de magnetización, en diferentes épocas después del trasplante (DDT).

El análisis de varianza (ANDEVA) individual para cambios en los diferentes pH en la solución nutritiva en las raíces a través del tiempo en la planta de frijol mostró diferencias significativas, altamente significativa y no significativa entre los factores principales e interacción en diferentes fechas días después del trasplante; para el factor de tiempo de magnetización 10-30 DDT $p = 0.0012-0.0423$; excepto los DDT 5-25; 35-60 $p = 0.1675-0.6263$; factor pH 5-60 DDT $p = <0.0001$, **para la interacción 30 DDT $p = 0.0406$ exceptos los DDT 5-25 y 35-60 $p = 0.1789-0.9604$ respectivamente Cuadro 20.**

La Figura 30 muestra la dinámica del incremento y establecimientos de los diferentes pH en las plantas de frijol, bajo. Las plantas de frijol con ajuste de pH fueron a los 5-20 DDT cuando el pH de la solución nutritiva fue de 8; 8; 7 y 8; 7 y 8, se modificó en la solución nutritiva de 7.03; 6.86; 7.10 y 7.20; 6.88 y 6.94. Las plantas de frijol con modificación en la solución nutritiva intermedio fueron con el pH 6 y 7; 6 y 7; 6; 6 obtuvieron una modificación en la solución nutritiva de 6.28 y 6.53; 6.35 y 6.57; 6.59; 5.88. Las plantas de frijol presentaron una de menor modificación en la solución nutritiva más bajo con pH de 4 y 4; 3 y 4; 3; 3, alcanzando una menor modificación en la solución nutritiva de 5.38 y 5.45; 5.88 y 5.89; 3.49; 3.13.

La Figura 31 muestra la dinámica de modificación de pH en la solución nutritiva en las plantas de frijol, bajo diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva a los 5-20 DDT.

Las plantas de frijol que modificaron más la solución nutritiva cuando el tiempo de magnetización fue 0, 0, 0.333 y 0.333 a 24 horas en la solución nutritiva, alcanzando una máxima de 6.27;6.50; 5.95; 5.36-5.45 19.6. Las plantas de frijol que obtuvieron intermedio modificación con el tiempo de magnetización 24; 0.333 y 24; 24 horas, obteniendo 6.14; 6.17 y 6.27; 5.82 respectivamente. Las plantas de frijol presentaron modificaciones más bajo con el tiempo de magnetización de 0.333, 2, 24 y 0 horas, alcanzando una modificación en la solución nutritiva de 5.83, 6.10, 5.80 y 5.14.

La Figura 32 muestra modificación final de pH en la solución nutritiva en las plantas de frijol, a los 60 días después del trasplante (DDT), en función del pH y tiempo de exposición en la solución nutritiva. Las plantas de frijol con mayor modificación de pH fueron cuando hubo interacción del pH 7 y 5 y tiempo de magnetización en la solución nutritiva de 2 horas, alcanzaron su máxima de 6.65,6.88 5.32 respectivamente.

El modelo que estima el rendimiento de semilla en función de tiempo de magnetización y pH fue cubico ($Y=-1.015+1.578 \text{ pH}-0.072 \text{ pH}^2$, $p=<0.0001$, $R^2=0.937$)

Existen numerosos ejemplos de investigaciones de esta naturaleza en donde se ha demostrado (Xu and Sun, 2008; Gilani *et al.*, 2013; Gilani *et al.*, 2017) mostraron que el valor de pH más alto en el agua magnetizada fue significativamente en comparación del aguas no magnetizada; de igual manera había una relación correspondiente entre la conductividad eléctrica del agua y valores de pH; mostraron un incremento significativo en el pH con

diferente intensidad magnética; además cuando el agua iónicamente es tratada con el imán se forma molécula alcalina y así disminuye la acidez. (Mohammed *et al.*, 2010; Musa and Hamoshi, 2012; Surendran, Sandeep y Joseph, 2016; Hassan *et al.*, 2019). Por otro lado, el pH mostró una mejora del 12% después de ser magnetizado, hasta ahora, el efecto del campo magnético sobre el agua ha sido reconocido como un problema no lineal y propuesto el mecanismo de magnetización del agua según la estructura y distribución de sus moléculas del agua y alteración en las dan como resultado transición de los electrones (Deng y Pang, 2007; Pang y Deng, 2008; Hasaani, Hadi y Rasheed, 2015; El-Ssawy *et al.*, 2020); en comparación con (Alimi *et al.*, 2007) informó que el pH del agua no fue influenciado por los tratamiento con magnetización, de modo similar menciona (Pietruszewski y Martínez, 2015b) que el efecto es variado y depende de la intensidad del campo magnético y el tiempo de exposición.

Cuadro 19. Medias de los efecto principal e interacciones en los cambios de pH en la solución nutritiva a través del tiempo en la planta de frijol en función de tiempo de exposición de los imanes de neodimio y diferentes pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	GD	Tiempo expuesto/h	pH						Media
			3	4	5	6	7	8	
5	88	0	5.27 c	5.73 bc	5.89 bc	6.43 abc	6.77 ab	7.52 a	6.27 a
		0.333	5.83 ab	4.94 b	5.24 ab	6.23 a	6.34 a	6.43 a	5.83 a
		2.0	5.24 b	5.59 b	5.80 ab	6.15 ab	6.29 ab	6.85 a	5.99 a
		24.0	5.18 c	5.54 bc	5.75 bc	6.32 abc	6.73 ab	7.30 a	6.14 a
		Media	5.38 d	5.45 cd	5.67 bcd	6.28 abc	6.53 ab	7.03 a	
10	150	0	5.93 c	6.40 bc	6.22 bc	6.56 abc	6.74 ab	7.16 a	6.50 a
		0.333	5.83 bc	5.61 c	5.90 bc	6.25 ab	6.70 a	6.73 a	6.17 ab
		2.0	5.91 b	5.67 b	6.00 ab	6.21 ab	6.17 ab	6.62 a	6.10 b
		24.0	5.85 b	5.87 b	5.90 b	6.39 ab	6.69 a	6.94 a	6.27 ab
		Media	5.88 d	5.89 cd	6.01 cd	6.35 bc	6.57 ab	6.86 a	
15	211	0	3.37 e	5.51 d	5.84 cd	6.41 bc	6.99 ab	7.18 a	5.88 a
		0.333	3.86 d	5.21 c	5.83 b	6.73 a	6.94 a	7.16 a	5.95 a
		2.0	3.40 e	4.86 d	5.62 c	6.59 b	7.24 a	7.20 a	5.82 a
		24.0	3.34 e	4.67 d	5.64c	6.64 b	7.25 a	7.25 a	5.80 a
		Media	3.49 e	5.06 d	5.73 c	6.59 b	7.10 a	7.20 a	
20	273	0	3.05 e	3.95 d	4.49 c	5.87 b	6.79 a	6.69 a	5.14 b
		0.333	3.08 e	4.44 d	4.89 c	6.15 b	6.99	7.15 a	5.45 a
		2.0	3.13 e	4.38 d	5.22 c	5.70 b	6.83 a	7.16 a	5.40 a
		24.0	3.26 c	4.66 c	4.79 c	5.80 b	6.90 a	6.77 a	5.36 a
		Media	3.13 e	4.36 d	4.85 c	5.88 b	6.88 a	6.94 a	
25	334	0	2.93 d	4.69 bc	4.19 c	5.56 b	6.74 a	7.11 a	5.20 a
		0.333	4.11 b	4.01 b	4.68 b	6.42 a	6.53 a	6.81 a	5.43 a
		2.000	3.04 c	4.20 b	5.08 b	6.24 a	6.62 a	6.79 a	5.33 a
		24.000	3.03 d	3.86 cd	4.78 bc	5.82 ab	6.58 a	6.80 a	5.15 a
		Media	3.28 d	4.19 c	4.68 c	6.01 b	6.62 ab	6.88 a	
30	395	0	3.03 e	4.24 d	5.30 c	5.86 b	6.77 a	7.15 a	5.39 a
		0.333	2.82 d	4.30 c	4.62 c	5.97 b	6.54 a	6.61 a	5.14 a
		2.0	2.77 d	4.81 c	4.72 c	5.94 b	6.72 a	6.95 a	5.32 a
		24.0	3.04 e	4.04 d	4.79 c	5.58 b	6.63 a	6.82 a	5.15 a
		Media	2.92 e	4.35 d	4.86 c	5.84 b	6.66 a	6.88 a	

35	457	0	2.99 d	4.32 c	4.34 c	5.72 b	6.77 a	6.90 a	5.17 a
		0.333	3.60 d	4.23 c	4.79 c	6.29 b	6.76 ab	6.98 a	5.44 a
		2.000	3.09 e	4.29 d	5.15 c	5.97 b	6.73 a	6.98 a	5.37 a
		24.000	3.15 d	4.26 c	4.78 c	5.81 b	6.74 a	6.79 a	5.25 a
		Media	3.21 e	4.27 d	4.76 c	5.95 b	6.75 a	6.91 a	
40	518	0	2.98 d	4.47 c	4.74 c	5.71 b	6.75 a	7.13 a	5.30 a
		0.333	3.46 c	4.16 b	4.65 b	6.20 a	6.54 a	6.71 a	5.28 a
		2.0	2.91 d	4.51 c	4.90 c	6.09 b	6.67 ab	6.87 a	5.32 a
		24.0	3.04 e	3.95 d	4.79 c	5.70 b	6.60 a	6.81 a	5.15 a
		Media	3.10 e	4.27 d	4.77 c	5.93 b	6.64 a	6.88 a	
45	580	0	3.01 e	4.28 d	4.82 c	5.79 b	6.77 a	7.03 a	5.28 a
		0.333	3.21 e	4.26 d	4.70 c	6.13 b	6.65 a	6.79 a	5.29 a
		2.0	2.93 d	4.55 c	4.93 c	5.96 b	6.72 a	6.96 a	5.34 a
		24.0	3.10 e	4.15 d	4.79 c	5.69 b	6.68 a	6.80 a	5.20 a
		Media	3.06 e	4.31 d	4.81 c	5.89 b	6.71 a	6.90 a	
50	641	0	3.01 e	4.35 d	5.02 c	5.79 b	6.76 a	7.14 a	5.34 a
		0.333	3.14 d	4.23 c	4.63 c	6.08 b	6.54 ab	6.66 a	5.21 a
		2.0	2.84 d	4.66 c	4.81 c	6.02 b	6.70 a	6.91 a	5.32 a
		24.0	3.04 e	3.99 d	4.79 c	5.64 b	6.62 a	6.81 a	5.15 a
		Media	3.01 e	4.31 d	4.81 c	5.88 b	6.65 a	6.88 a	
55	703	0	3.00 d	4.30 c	4.58 c	5.75 b	6.77 a	6.96 a	5.23 a
		0.333	3.40 e	4.25 d	4.74 c	6.21 b	6.71 a	6.89 a	5.37 a
		2.0	3.01 e	4.42 d	5.04 c	5.97 b	6.73 a	6.97 a	5.36 a
		24.0	3.12 e	4.20 d	4.79 c	5.75 b	6.71 a	6.80 a	5.23 a
		Media	3.13 e	4.29 d	4.79 c	5.92 b	6.73 a	6.90 a	
60	764	0	2.99 d	4.41 c	4.88 c	5.75 b	6.76 a	7.13 a	5.32 a
		0.333	3.30 d	4.19 c	4.64 c	6.14 b	6.54 ab	6.68 a	5.25 a
		2.0	2.87 d	4.58 c	4.85 c	6.05 b	6.68 a	6.89 a	5.32 a
		24.0	3.04 e	3.97 d	4.79 c	5.67 b	6.61 a	6.81 a	5.15 a
		Media	3.05 e	4.29 d	4.79 c	5.90 b	6.65 a	6.88 a	

Cuadro 20. ANDEVA para cambios de pH en la solución nutritiva a través del tiempo en la planta en frijol en función de tiempo de exposición de imanes de neodimio y diferentes pH, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2018-2019.

DDT	FV	GL	Valor de F	p>F	CV%
5	Tiempo	3	1.14	0.3410	12.2
	pH	5	9.55	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.43	0.9604	
10	Tiempo	3	3.73	0.0173	6.1
	pH	5	13.06	<0.0001	
	Tiempo x pH	14	0.48	0.9371	
15	Tiempo	3	0.67	0.5767	6.2
	pH	5	183.84	<.0001	
	Tiempo x pH	15	1.04	0.4304	
20	Tiempo	3	6.21	0.0012	4.3
	pH	5	493.17	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	1.95	0.0406	
25	Tiempo	3	0.59	0.6263	13.2
	pH	5	51.13	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.82	0.6521	
30	Tiempo	3	2.94	0.0423	5.84
	pH	5	290.97	<0.0001	
	Tiempo x pH	14	1.41	0.1789	
35	Tiempo	3	1.74	0.1710	7.1
	pH	5	180.02	<.0001	
	Tiempo x pH	15	0.71	0.7622	
40	Tiempo	3	0.75	0.5255	7.3
	pH	5	175.38	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.86	0.6117	
45	Tiempo	3	0.97	0.4124	4.7
	pH	5	425.30	<.0001	
	Tiempo x pH	14	0.82	0.6558	
50	Tiempo	3	1.76	0.1675	5.5

	pH	5	309.31	<.0001	
	Tiempo x pH	15	1.10	0.3843	
	Tiempo	3	1.18	0.3290	5.6
55	pH	5	295.55	<0.0001	
	Tiempo x pH	15	0.67	0.7987	
	Tiempo	3	1.12	0.3489	6.2
60	pH	5	243.61	<.0001	
	Tiempo x pH	15	0.95	0.5148	

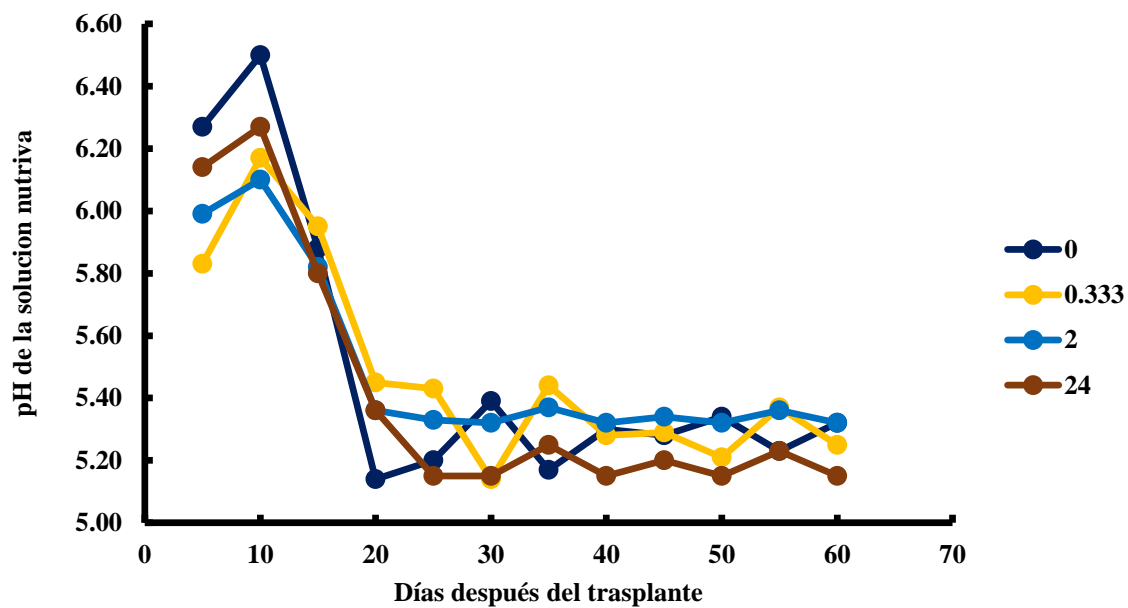


Figura 30. Cambios de los pH en la solución nutritiva medidos en la raíz de planta de frijol en función de seis diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de exposición en horas de los imanes.

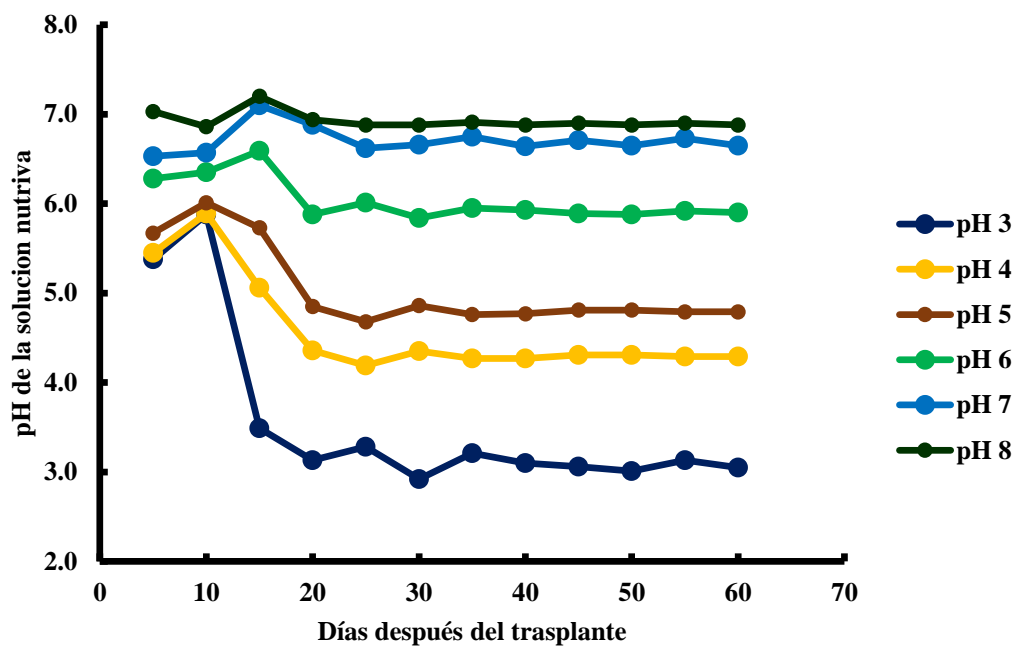


Figura 31. Cambios de los pH en la solución nutritiva medidos en la raíz de planta de frijol en función de tiempo de magnetización.

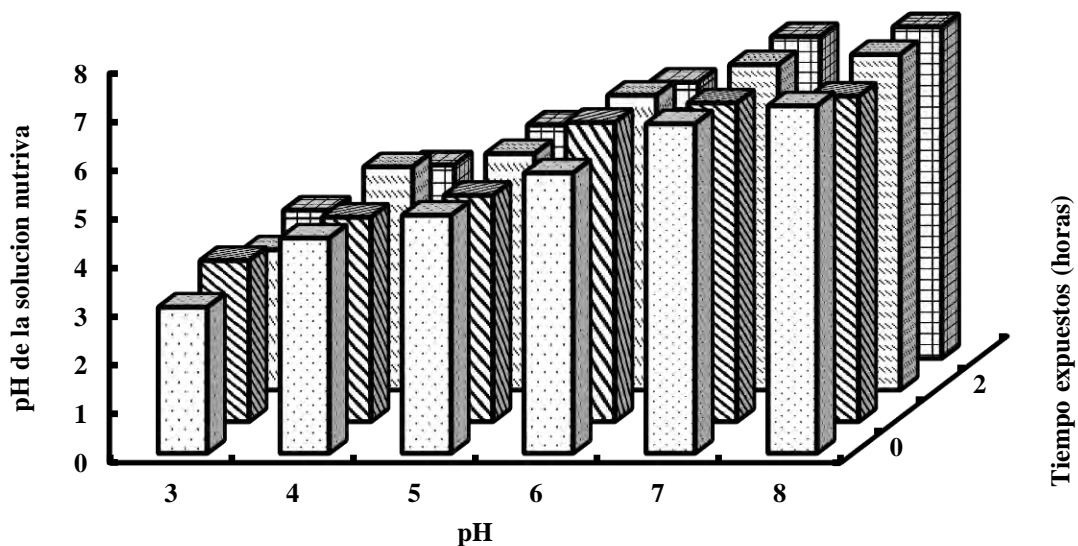


Figura 32. Cambios finales a los 60 DDT de los pH en la solución nutritiva en las raíces de la planta de frijol en función de la interacción de diferentes pH en la solución nutritiva y tiempo de magnetización.

Cuadro 21. Análisis de regresión múltiples para el modelo cubico, cuadrático para los componentes de rendimiento de semilla de frijol de la variedad negro Veracruz; determinadas en el experimento en condiciones de invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Torreón; Coahuila 2018-2019.

	Parámetro	Estimador	Error estándar	Valor t	P t	P > F	R ²
pH en la solución nutritiva	Intercepto	-1.015	0.482	-2.11	0.0387	<0.0001	0.937
	pH	1.578	0.187	8.45	<0.0001		
	pH ²	-0.072	0.017	-4.30	<0.0001		

12 CONCLUSIÓN

En este trabajo de investigación se evaluó el efecto de la interacción de diferentes tiempos de magnetización en la solución nutritiva expuestos y diferentes pH donde mostró que el campo magnético es competente para dar un mejor resultado en comparación con el método convencional en la planta de frijol, se analizó los resultados de la interacción en función de los tiempos de magnetización en la solución nutritiva en función diferentes pH en la solución nutritiva donde se confirmó que requiere menos tiempo para el crecimiento y desarrollo de la plantas.

Se recomienda en investigaciones a futuras seguir con trabajos de exploración, en el tiempo de exposición solución nutritiva magnetizada y diferentes intensidades, cambiar la agricultura convencional, por una agricultura sustentable y poder obtener excelentes beneficios y productividad de alimentos aplicando estas tecnologías, económica y amigable con el medio ambiente, este conocimiento podría ser la agricultura del futuro.

13 REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA

- Abdelaziz, E. and Abdelrazig, A. (2014) 'Impact of magnetized water on elements contents in plants seeds', *International Journal of Scientific Research and Innovative Technology*, 1(4), pp. 12–21.
- Abou El-Yazied, A. et al. (2012) 'Effect of magnetic field treatments for seeds and irrigation water as well as N, P and K levels on productivity of tomato plants', *Journal of Applied Sciences Research*, 8(4), pp. 2088–2099.
- Al-Khazan, M., Abdullatif, M. and Al-Assaf, N. (2011) 'Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages', *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(9), pp. 722–731. doi: 10.5897/AJEST11.117.
- Aladjadjian, A. (2012) 'Physical Factors for Plant Growth Stimulation Improve Food Quality', in *Food Production - Approaches, Challenges and Tasks*. InTech. doi: 10.5772/32039.
- Ali, Y., Samaneh, R. and Kavakebian, F. (2014a) 'Applications of Magnetic Water Technology in Farming and Agriculture Development: A Review of Recent Advances', *Current World Environment*, 9(3), pp. 695–703. doi: 10.12944/CWE.9.3.18.
- Ali, Y., Samaneh, R. and Kavakebian, F. (2014b) 'Applications of Magnetic Water Technology in Farming and Agriculture Development: A Review of Recent Advances', *Current World Environment*. Enviro Research Publishers, 9(3), pp. 695–703. doi: 10.12944/cwe.9.3.18.
- Alimi, F. et al. (2007) 'Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation', *Desalination*, 206(1–3), pp. 163–168. doi: 10.1016/j.desal.2006.02.064.
- Alvarado, K. and Blanco, A. (2012) 'Efecto del agua magnetizada en algunos parámetros morfológicos de las especies romero (*Rosmarinus officinalis*) y llantén menor (*Plantago lanceolata*)', *Centro Agrícola*, 39(3), pp. 81–86.
- Barrios-Gómez, E. J. and López-Castañeda, C. (2009) 'Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol', *Agrociencia*, 43(1), pp. 29–35.

- Belyavskaya, N. A. (2001) 'Ultrastructure and calcium balance in meristem cells of pea roots exposed to extremely low magnetic fields', *Advances in Space Research*, 28(4), pp. 645–650. doi: 10.1016/S0273-1177(01)00373-8.
- Belyavskaya, N. A. (2004) 'Biological effects due to weak magnetic field on plants', *Advances in Space Research*, 34(7), pp. 1566–1574. doi: 10.1016/j.asr.2004.01.021.
- Carbonell, M. V., Martinez, E. and Amaya, J. M. (2000) 'Stimulation of germination in rice (*Oryza Sativa* L.) by a static magnetic field', *Electro- and Magnetobiology*. Marcel Dekker Inc., 19(1), pp. 121–128. doi: 10.1081/JBC-100100303.
- CIAT (1982) 'CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiovisual sobre el mismo tema. (Serie 04SB-09.03). Cali, Colombia', 55.
- Deng, B. and Pang, X. F. (2007) 'Variations of optic properties of water under action of static magnetic field', *Chinese Science Bulletin*, 52(23), pp. 3179–3182. doi: 10.1007/s11434-007-0430-7.
- El-Gizawy A.M., M. E. Ragab, Nesreen A. S. Helal, A. E.-S. and I. H. O. (2016) 'Effect of Magnetic Field Treatments on Germination of True Potato Seeds, Seedlings Growth and Potato Tubers Characteristics', *Middle East Journal of Agriculture Research*, (20774605), pp. 74–81. Available at: <http://www.curresweb.com/mejar/mejar/2016/74-81.pdf>.
- El-Ssawy, W. et al. (2020) 'The Impact of Advanced Static Magnetic Units on Water Properties and the Performance of Aeroponic and NFT Systems for Lettuce', *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(4), pp. 1–12. doi: 10.15244/pjoes/112364.
- Eşitken, A. and Turan, M. (2004) 'Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. *camarosa*)', *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 54(3), pp. 135–139. doi: 10.1080/09064710310019748.

- Fernando, F. P. et al. (2015) 'Response of lettuce crop to magnetically treated irrigation water and different irrigation depths', *African Journal of Agricultural Research*, 10(22), pp. 2300–2308. doi: 10.5897/AJAR2015.9616.
- Finlay, C. C. et al. (2010) 'International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation', *Geophysical Journal International*, 183(3), pp. 1216–1230. doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04804.x.
- Flórez, M., Carbonell, M. V. and Martínez, E. (2004) 'Early Sprouting and First Stages of Growth of Rice Seeds Exposed to a Magnetic Field', *Electromagnetic Biology and Medicine*, 23(2), pp. 157–166. doi: 10.1081/LEBM-200042316.
- Fu, E. (2012) 'The effects of magnetic fields on plant growth and health', *Young Scientists Journal. Medknow*, 5(11), p. 38. doi: 10.4103/0974-6102.97696.
- Galland, P. et al. (2017) 'Magnetorecepción en las plantas Abstracto', pp. 1–83.
- Gilani, A. et al. (2013) 'Measurement of Acid-Binding Capacity for Poultry Feedstuffs in Deionized and Magnetized Water', *Iranian Journal of Applied Animal Sciences*, 3, pp. 687–694.
- GILANI, A. et al. (2017) 'AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT THROUGH MAGNETIZATION OF IRRIGATION WATER: A REVIEW', *Journal of Aridland Agriculture*, 3, pp. 23–27. doi: 10.25081/jaa.2017.v3.3353.
- Goldsworthy, A., Whitney, H. and Morris, E. (1999) 'Biological effects of physically conditioned water', *Water Research. Elsevier Science Ltd*, 33(7), pp. 1618–1626. doi: 10.1016/S0043-1354(98)00395-9.
- Goodman, E. M., Greenebaum, B. and Marron, M. T. (1995) 'Effects of Electromagnetic Fields on Molecules and Cells', in *International Review of Cytology*, pp. 279–338. doi: 10.1016/S0074-7696(08)62489-4.
- Hasaani, A. S., Hadi, Z. L. and Rasheed, K. A. (2015) 'Experimental study of the interaction of magnetic fields with flowing water', *International Journal of Basics and Applied Science*, 3(3), pp. 1–8. Available at: www.insikapub.com.
- Hassan, S. M. et al. (2019) 'Influence of continuous magnetic field exposure on water properties and subsequent effects on the growth performance, plasma biochemistry, nutritive value and liver histopathology of Jade Perch Scortum

- barcoo in a recirculating system', *Aquaculture Research*, 50(7), pp. 1931–1941. doi: 10.1111/are.14080.
- Hozayn, M., El Monem, A. A. A., et al. (2013) 'Do Magnetic Water Affect Water Use Efficiency, Quality and Yield of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Plant under Arid Regions Conditions?', *Journal of Agronomy*, 12(1), pp. 1–10. doi: 10.3923/ja.2013.1.10.
- Hozayn, M., Abd El Monem, A. A., et al. (2013) 'Do magnetic water affect water use efficiency, quality and yield of sugar beet {*beta vulgaris* l.) plant under arid regions conditions?', *Journal of Agronomy*, 12(1), pp. 1–10. doi: 10.3923/ja.2013.1.10.
- Hozayn, M. et al. (2016) 'Applications of magnetic technology in agriculture: A novel tool for improving crop productivity (1): Canola', *African Journal of Agricultural Research. Academic Journals*, 11(5), pp. 441–449. doi: 10.5897/ajar2015.9382.
- Kordas, L. (2002) 'The Effect of Magnetic Field on Growth, Development and the Yield of Spring Wheat', *Polish Journal of Environmental Studies*, 11(5), pp. 527–530.
- Liu, X. et al. (2019) 'The effects of magnetic treatment of irrigation water on seedling growth, photosynthetic capacity and nutrient contents of *Populus × euramericana* "Neva" under NaCl stress', *Acta Physiologiae Plantarum*. Springer Berlin Heidelberg, 41(1), p. 11. doi: 10.1007/s11738-018-2798-1.
- Maffei, M. E. (2014a) 'Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution', *Frontiers in Plant Science*. doi: 10.3389/fpls.2014.00445.
- Maffei, M. E. (2014b) 'Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution', *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Research Foundation. doi: 10.3389/fpls.2014.00445.
- Maheshwari, B. L. and Grewal, H. S. (2009) 'Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity', *Agricultural Water Management*, 96(8), pp. 1229–1236. doi: 10.1016/j.agwat.2009.03.016.
- Mahmood, S. and Usman, M. (2014) 'Consequences of magnetized water application on maize seed emergence in sand culture', *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(1), pp. 47–55.
- Marei, A. et al. (2014) 'Effect of using magnetic brackish water on irrigated bell pepper crop (*Capsicum annuum* L.) characteristics in lower Jordan Valley/West', *Journal of*

- Agricultural Science and Technology A, 4(January 2014), pp. 830–938. doi: 10.17265/2161-6256/2014.10.005.
- Mohammadi, R. et al. (2019) ‘The impacts of magnetized water treatment on different morphological and physiological factors of plant species in arid regions’, *Water Supply*, 19(6), pp. 1587–1596. doi: 10.2166/ws.2019.027.
- Mohammed, M. et al. (2010) ‘The effect of magnetic field on the physical, chemical and microbiological properties of the lake water in Saudi Arabia’, *Journal of Evolutionary Biology Research*, 2(1), pp. 7–14. Available at: <http://www.academicjournals.org/jebr>.
- Morales, A. R. et al. (2015) ‘Comparación De Los Componentes Del Rendimiento En Variedades De Frijol En Condiciones De Acidez Y Humedad Residual Del Suelo En El Sur De Veracruz’, *Terra Latinoamericana*, 33(4), pp. 309–319.
- Moussa, H. (2011) ‘The impact of magnetic water application for improving common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production’, *New York Science Journal*, 4(6), pp. 15–20.
- Musa, T. N. and Hamoshi, E. A. (2012) ‘The Effect of Magnetic Field on The Solubility of NaCl and CaCl₂ · 2H₂O at Different Temperature and pH Values’, 25(1), pp. 19–26.
- Naz, A. et al. (2012) ‘Enhancement in the germination, growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) using pre-sowing magnetic treatment of seeds.’, *Indian journal of biochemistry & biophysics*, 49(3), pp. 211–4. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22803337>.
- Nyakane, N. E., Markus, E. D. and Sedibe, M. M. (2019) ‘The Effects of Magnetic Fields on Plants Growth: A Comprehensive Review’, *ETP International Journal of Food Engineering*, (April), pp. 79–87. doi: 10.18178/ijfe.5.1.79-87.
- Occhipinti, A., De Santis, A. and Maffei, M. E. (2014a) ‘Magnetoreception: An unavoidable step for plant evolution?’, *Trends in Plant Science*. Elsevier Ltd, 19(1), pp. 1–4. doi: 10.1016/j.tplants.2013.10.007.
- Occhipinti, A., De Santis, A. and Maffei, M. E. (2014b) ‘Magnetoreception: An unavoidable step for plant evolution?’, *Trends in Plant Science*, pp. 1–4. doi: 10.1016/j.tplants.2013.10.007.

- Osman, E. a M. et al. (2014) 'Assessing the effect of irrigation with different levels of saline magnetic water on growth parameters and mineral contents of pear seedlings', *Global Journal of Scientific Researches*, 2(5), pp. 128–136. Available at: [file:///C:/Users/ACER%7D/Downloads/Assessingtheeffectofirrigation \(1\).pdf](file:///C:/Users/ACER%7D/Downloads/Assessingtheeffectofirrigation%20(1).pdf).
- Pang, X. and Deng, B. (2008) 'Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field', *Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy*, 51(11), pp. 1621–1632. doi: 10.1007/s11433-008-0182-7.
- Pang, X. F. and Shen, G. F. (2013) 'The changes of physical properties of water arising from the magnetic field and its mechanism', *Modern Physics Letters B*, 27(31), pp. 1–9. doi: 10.1142/S021798491350228X.
- Pietruszewski, S. and Martínez, E. (2015a) 'Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: a review', *International Agrophysics*, 29(3), pp. 377–389. doi: 10.1515/intag-2015-0044.
- Pietruszewski, S. and Martínez, E. (2015b) 'Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: A review', *International Agrophysics*. Walter de Gruyter GmbH, 29(3), pp. 377–389. doi: 10.1515/intag-2015-0044.
- Pittman, U. J. (1963) 'MAGNETISM AND PLANT GROWTH: I. EFFECT ON GERMINATION AND EARLY GROWTH OF CEREAL SEEDS', *Canadian Journal of Plant Science*. Canadian Science Publishing, 43(4), pp. 513–518. doi: 10.4141/cjps63-104.
- Podleśny, J., Pietruszewski, S., and Podleśna, A. (2004) 'Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions', *International Agrophysics*, 34(2), pp. 65–71. Available at: <http://www.ipan.lublin.pl/int-agrophysics>.
- Romero Félix, C. S. et al. (2019) 'Cambios en el rendimiento y sus componentes en frijol bajo riego y sequía', *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), pp. 351–364. doi: 10.29312/remexca.v10i2.1607.
- Sadeghipour, O. (2016) 'The Effect of Magnetized Water on Physiological and Agronomic Traits of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.)', *International Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engineering*, 3(2). doi: 10.15242/IJRCMCE.IAE0716403.

- SAS (1999) 'SAS Institute. 2004. The SAS system release 9.0 for Windows. SAS Institute. Cary, NC, USA.'
- Sayed, H. (2014) 'Impact of Magnetic Water Irrigation for Improve the Growth, Chemical Composition and Yield Production of Broad Bean (*Vicia faba* L.) Plant', American Journal of Experimental Agriculture. Sciencedomain International, 4(4), pp. 476–496. doi: 10.9734/ajea/2014/7468.
- Selim, D. A. F. H. et al. (2019) 'Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions', Plant Physiology and Biochemistry, 135(October), pp. 480–488. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.11.012.
- Shukla, S, Wagh, S, ... Wagh, K. (2017) 'MAGNETIC FIELD EFFECT ON PLANT GROWTH IN HYDROPONIC FARMING S.', journal of Basic and Applied Research International, 19(4), pp. 259–262. Available at: <http://www.ikpress.org/index.php/JOBARI/article/view/4122>.
- Steiner, A. A. (1966) 'The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants', Plant and Soil, 24(3), pp. 454–466. doi: 10.1007/BF01374052.
- Surendran, U., Sandeep, O. and Joseph, E. J. (2016) 'The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics', Agricultural Water Management. Elsevier B.V., 178, pp. 21–29. doi: 10.1016/j.agwat.2016.08.016.
- Teixeira, J. and Dobránszki, J. (2014) 'Impact of Magnetic Water on Plant Growth', Environmental and Experimental Biology, 12(1), pp. 137–142.
- Tosquy-Valle, O. H. et al. (2020) 'Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz', REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 38(1), p. 91. doi: 10.28940/terra.v38i1.411.
- Turker, M. et al. (2007) 'The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants', Phytion - Annales Rei Botanicae, 46(2), pp. 271–284. Available at: https://www.zobodat.at/pdf/PHY_46_2_0271-0284.pdf.
- Vashisth, A. and Joshi, D. K. (2017) 'Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field', Bioelectromagnetics, 38(2), pp. 151–157. doi: 10.1002/bem.22023.

- Vashisth, A., Singh, R. and Joshi, D. K. (2013) 'Effect of Static Magnetic Field on Germination and Seedling Attributes in Tomato (*Solanum lycopersicum*)', *Journal of Agricultural Physics*, 13(2), p. 182/185.
- Wang, Y. and Yao, X. (2014) 'Experiment about improvement of physical and chemical properties of magnetized water on cement hydration reaction', *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(5), pp. 21–26.
- Xu, Y. B. and Sun, S. Y. (2008) 'Effect of stable weak magnetic field on Cr(VI) bio-removal in anaerobic SBR system', *Biodegradation*, 19(3), pp. 455–462. doi: 10.1007/s10532-007-9151-5.
- Yano, A. et al. (2004) 'Effects of a 60 Hz magnetic field on photosynthetic CO₂ uptake and early growth of radish seedlings', *Bioelectromagnetics*, 25(8), pp. 572–581. doi: 10.1002/bem.20036.
- Zuñiga Escobar, O. et al. (2016) 'Efecto del agua magnetizada en el desarrollo y la producción de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)', *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), pp. 176–185. doi: 10.17584/rcch.2016v10i1.5112.
- Zuñiga, O. et al. (2018) 'Effect of Electromagnetic Fields on Microbial Activity of a Bio-Fertilizer', *Revista de Ciencias*, 20(1), p. 14. doi: 10.25100/rc.v20i1.6108.