



MONOGRAFÍA DE FÍSICA

Convocatoria: noviembre 2018

AGUA EXPUESTA A CAMPOS MAGNÉTICOS Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO DE LA PLANTA *RAPHANUS SATIVUS*

¿Cuál es la variación de la temperatura, conductividad eléctrica, y pH del agua expuesta a campos magnéticos, y su efecto en la altura y peso de la planta *Raphanus sativus*?

Número de palabras: 3932

Agradecimientos

A Dios, por colmarme de motivación para poder culminar exitosamente el presente trabajo.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mi muy querido profesor José Rosell Rubio Monteza, por exigirme siempre más allá de mis límites, y su excelente asesoría durante el desarrollo de la presente investigación.

A mi respetado profesor Fernando Fernández, por su amabilidad y ayuda en el laboratorio.

A mi leal amigo Jorge Daniel Otayza, por orientarme en las estrategias de redacción del trabajo monográfico.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1 Marco teórico	3
Conceptos de electromagnetismo	3
Potencial de hidrógeno (pH)	5
Experimentos sobre el efecto de la exposición del agua a un campo magnético en sus propiedades físicas y químicas.	5
Explicación del efecto del campo magnético en las propiedades físicas y químicas del agua	6
Calidad del agua de riego y pH	8
Tratamiento magnético a las semillas de <i>Raphanus Sativus</i>	9
Capítulo 2 Planteamiento del problema y de la investigación.....	10
Pregunta de investigación	10
Hipótesis	10
Variables	10
Condiciones sobre configuración y principios éticos	11
Capítulo 3 Procedimientos y métodos	12
Medición de la intensidad del campo magnético de los imanes sobre el agua.	12
Medición del volumen del agua.	13
Medición de la variación de las variables física-química del agua durante el tiempo de exposición a campos magnéticos.	13
Germinación de las semillas del <i>Raphanus sativus</i>	14

Capítulo 4 Datos obtenidos y análisis.....	16
Datos brutos	16
Datos procesados	18
Gráficas.....	20
Conclusiones	29
Mejora de la investigación	31
Bibliografía.....	33
Anexos.....	35
Anexo 1: Medición del campo magnético.	35
Anexo 2: Fotografías de las plantas <i>Raphanus Sativus</i>	38

Índice de tablas

Tabla 1: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y variación de la temperatura.	16
Tabla 2: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y variación de la conductividad eléctrica.....	16
Tabla 3: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y variación del pH.....	17
Tabla 4: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua de riego y peso de las plantas <i>Raphanus Sativus</i>	17
Tabla 5: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua de riego y altura de las plantas <i>Raphanus Sativus</i>	17
Tabla 6: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y el promedio de la variación de la temperatura del agua.	18
Tabla 7: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y promedio de la variación de la conductividad eléctrica del agua.	18
Tabla 8: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y el promedio de la variación del pH del agua.	19
Tabla 9: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y peso de las plantas	19
Tabla 10: Intensidad de campo magnético al que expuesta el agua y altura de la plantas.	19
Tabla 11: Intensidad de campo magnético y ángulo de inclinación de la brújula.	35
Tabla 12: Intensidad de campo magnético y distancia de exposición.	35
Tabla 13: Intensidad de campo magnético y su incertidumbre.	36

Índice de gráficas

Gráfica 1: Variación de la temperatura del agua vs Intensidad de campo magnético expuesto.	20
Gráfica 2: Variación de la conductividad eléctrica del agua vs Intensidad de campo magnético expuesto.	21
Gráfica 3: Variación del pH del agua vs Intensidad de campo magnético expuesto. ...	22
Gráfica 4: Peso de la planta Raphanus Sativus vs Intensidad de campo magnético expuesto.	23
Gráfica 5: Altura de la planta Raphanus Sativus vs Intensidad de campo magnético expuesto al agua de riego.	24
Gráfica 6: Temperatura de 6 muestras de agua expuesta a 6 intensidades de campo magnético, en un tiempo de exposición de 5 horas.	25
Gráfica 7: Conductividad eléctrica de 6 muestras de agua expuestas a 6 intensidades de campo magnético, en un tiempo de exposición de 5 horas.	26
Gráfica 8: pH de 6 muestras de agua expuestas a 6 intensidades de campo magnético, en un tiempo de exposición de 5 horas.	27
Gráfica 9: Intensidad de campo magnético vs Distancia de exposición.	36
Gráfica 10: Linealización de la gráfica Intensidad de campo magnético vs distancia de exposición.	37

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo monográfico tiene como tema: **Agua expuesta a campos magnéticos y su efecto en el desarrollo de la planta *Raphanus sativus***. Por consiguiente, la pregunta de investigación es: **¿Cuál es la variación de la temperatura, conductividad eléctrica y pH del agua expuesta a campos magnéticos, y su efecto en la altura y peso de la planta *Raphanus sativus*?**

Se puede explicar el efecto magnético sobre el agua, partiendo de la naturaleza diamagnética de esta. La molécula de agua genera un campo magnético contrario al que se le es expuesto, y por ende la molécula es repelida por el mismo. El campo magnético al que se le expone la molécula de agua, le proporciona una energía potencial, que se convierte en energía cinética para alejarse del campo. Esta energía proporcionada significará la variabilidad de las propiedades del agua, como la temperatura, conductividad eléctrica y pH.

El tratamiento magnético al agua es un tema científico muy controversial, pues diversos autores se contradicen unos con otros, en relación a los cambios de las propiedades del agua al ser expuesta a campos magnéticos. Por lo tanto, no se ha podido desarrollar una teoría científica sólida que pueda explicar con exactitud el efecto magnético en el agua.

En esta investigación, se presenta la experimentación de la variabilidad de la temperatura, conductividad eléctrica, y pH del agua, al ser expuesta a diferentes campos magnéticos, generados por imanes de neodimio. Se utilizó sensores Vernier de temperatura, conductividad eléctrica y pH, para registrar la variabilidad de dichas

magnitudes en el tiempo; a diferentes intensidades de campo magnético, que se controlaban con la distancia entre los imanes y el vaso de precipitación que contenía el agua.

Además, se comparó la altura y peso de las plantas *Raphanus Sativus*, regadas con agua, expuesta a campos magnéticos, y de las plantas de control.

La presente investigación es muy importante para la comunidad científica, ya que significa el estudio de un tópico de debate entre los profesionales en la materia, y proporciona un trabajo más, al escaso número de investigaciones sobre el tema. Adicionalmente, expone los resultados del desarrollo de la planta *Raphanus Sativus*, al ser regada con ATM (agua tratada magnéticamente), que podría contribuir en el uso de nuevos procesos agrícolas, más económicos, para mejorar el crecimiento de dicha planta.

Capítulo 1

Marco teórico

Conceptos de electromagnetismo

Campos magnéticos.

Materiales magnéticos. En un modelo simplificado del átomo, el movimiento de los electrones genera espiras de corriente muy pequeñas, y sus momentos magnéticos están asociado con su movimiento orbital. El momento magnético de espín μ de un electrón con carga e , que se mueve con una rapidez constante v , en una órbita circular de radio r , alrededor del núcleo se expresa en la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{1}{2} evr$$

Ecuación 1

Todas las sustancias en el universo están compuestas de electrones, por lo tanto, pueden presentar propiedades magnéticas. No obstante, ciertas sustancias presentan efectos magnéticos en mayor grado que otras, es por ello que podemos clasificarlas en ferromagnéticas, paramagnéticas y diamagnéticas

Las sustancias diamagnéticas, en ausencia de un campo magnético externo, sus momentos magnéticos se alinean azarosamente, por lo que no generan efectos magnéticos. No obstante, al ser expuesta a un campo magnético externo, se les induce un momento magnético débil en dirección opuesta al campo expuesto, esto hace que las sustancias diamagnéticas sean débilmente repelidas por un imán. El agua es considerada una sustancia diamagnética. (Bauer y Westfall, 2011).

Medición del campo magnético por método trigonométrico. Este método consiste en la suma vectorial de campos magnéticos individuales:

$$B_{Neto} = \sum_{i=1}^n B_i$$

Ecuación 2

Cuando una brújula se orienta libremente, está sujeta al campo magnético de la Tierra. Si se coloca otro cuerpo que origine un campo magnético, el campo magnético total al que estará expuesto la brújula es:

$$\vec{B}_{Neto} = \vec{B}_{Tierra} + \vec{B}_{Cuerpo}$$

Ecuación 3

Para medir el campo magnético de un cuerpo, se coloca a este perpendicularmente a una brújula. La aguja se desviará con un ángulo en la dirección del campo magnético neto. La magnitud del campo magnético del cuerpo se obtendría mediante la siguiente expresión:

$$\tan \theta = \frac{|\vec{B}_{Cuerpo}|}{|\vec{B}_{Tierra}|}$$

Ecuación 4

Donde θ es el ángulo de la aguja de la brújula, que forma el campo magnético resultante respecto al norte magnético de la brújula.

Campo magnético de un imán permanente y su dependencia con la distancia desde la fuente. Según los experimentos, la intensidad del campo magnético de un imán disminuye con el cubo de la distancia.

El campo magnético generado por un dipolo ideal en un punto, a una distancia d desde el centro del dipolo, a lo largo de su eje viene, dado por la siguiente expresión:

$$B_{axis} = \frac{2\mu_0\mu}{4\pi d^3}$$

Ecuación 5

Donde es μ_0 es la constante de permeabilidad en el vacío y μ es el momento magnético del imán.

Modelo magnético mundial. El Modelo Magnético Mundial (WMM) es un modelo estándar del núcleo y campo magnético de la corteza terrestre a gran escala.

El sitio web del Centro Nacional de Datos Geofísicos (NCEI) proporciona una calculadora virtual que permite determinar la intensidad del campo magnético en una zona determinada de la Tierra, mediante el uso del WMM.

Potencial de hidrógeno (pH)

Las escalas pH permite medir la acidez y la basicidad de una solución acuosa diluida.

Experimentos sobre el efecto de la exposición del agua a un campo magnético en sus propiedades físicas y químicas.

Pang y Deng encontraron que la tensión superficial del agua disminuye al incrementar la intensidad de campo magnético. Otros autores como Amari y Dadkhah, reportaron resultados similares. (como se cita en Zúñiga, Benavides, Ospina-Salazar,

Jiménez y Gutiérrez, 2016). Según la ecuación Eötvös, la tensión superficial de un líquido, y su temperatura están inversamente relacionadas

Ibraim (2006), reportó que el agua al ser expuesta a un campo magnético, cambió positivamente sus propiedades como su conductividad eléctrica y su constante dieléctrica.

Amor, Elaoud y Hozayn (2018), reportaron que el pH del agua se incrementa ligeramente a lo largo del tiempo de exposición a un campo magnético.

Wang, Wei, y Li (2017) presentaron datos que sostenían que las propiedades físicas del agua, como el punto de ebullición y calor específico estaban negativamente correlacionados con la intensidad del campo magnético.

Autores como Toledo, Chang y Cheng sostienen que una posible explicación de lo que ocurre en el agua al ser expuesta a un campo magnético, es que la competición entre los enlaces intramoleculares e intermoleculares de las moléculas del agua llevan a la formación de pequeños grupos de moléculas, pero con fuertes enlaces moleculares (Zúñiga et al., 2016). Sin embargo, dicha teoría se contradice con los resultados que reportan la disminución en las propiedades del agua como el punto ebullición y la capacidad calórica. Pues debido al fuerte puente de hidrógeno, el agua tiene un alto punto de ebullición y una alta capacidad calórica.

Explicación del efecto del campo magnético en las propiedades físicas y químicas del agua

Debido a que la molécula de agua es diamagnética, las moléculas de una masa de agua, al ser expuesta a un campo magnético, empiezan a desplazarse en dirección

opuesta al campo magnético. El campo magnético proporciona a las moléculas de agua energía potencial, que parte de ella se transformará en energía cinética, por lo tanto, la temperatura del agua aumentará.

En relación a la conductividad eléctrica del agua, los iones presentes en el agua, son los que permiten el paso de una corriente eléctrica. Según Mispireta (2012) al disminuir la viscosidad, los iones se pueden mover con mayor libertad, y ello significa el aumento de la conductividad (la viscosidad se refiere al grado de fricción interna en un fluido). La viscosidad y la temperatura (en un líquido) están inversamente relacionados.

El modelo Arrhenius propone la siguiente ecuación la cual relaciona la viscosidad y temperatura de un líquido:

$$\mu = c \cdot e^{\left(\frac{E}{RT}\right)}$$

Ecuación 6

Donde μ es la viscosidad del líquido, c es una constante, E es la energía de activación del fluido viscoso, R es la constante universal de los gases, y T es la temperatura en kelvin.

Por lo tanto, al estar la conductividad y la viscosidad inversamente relacionadas, y esta última estar inversamente relacionada con la temperatura, se podría esperar que la conductividad y la temperatura de un líquido estarían positivamente correlacionados.

Hayashi (2003) presenta la siguiente ecuación para la relación la temperatura y la conductividad del agua:

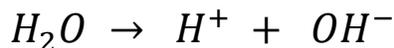
$$EC_t = EC_{25} [1 + a(t - 25)]$$

Ecuación 7

Donde EC_t es la conductividad eléctrica del agua a una determinada temperatura en $^{\circ}C$, EC_{25} es la conductividad eléctrica del agua a $25^{\circ}C$, t es la temperatura del agua, y es un factor de compensación de temperatura, cuya dimensión es $^{\circ}C^{-1}$

Por consiguiente, al exponer el agua a un campo magnético, esta aumentará su conductividad eléctrica debido a que dicha magnitud está positivamente relacionada con la temperatura.

La relación de la temperatura y el pH en el agua se puede explicar mediante la reacción de carácter endotérmico que describe la formación de iones de hidrógeno e iones de hidróxido en el agua, que se describe en la siguiente ecuación:



Ecuación 8

Según al Principio de Le Châtelier, al cambiar la condición de una reacción química en equilibrio dinámico, esta reacción evolucionará para poder cambiar los cambios externos del sistema. Por lo tanto, si aumenta la temperatura del agua, se formarán más iones de hidrógeno y iones de hidróxido para mantener el equilibrio. En consecuencia, el pH disminuye al aumentar la temperatura.

Calidad del agua de riego y pH

El agua de riego de buena calidad debe tener un pH entre 6.5 a 8.4 unidades pH; de lo contrario, el agua puede causar un desequilibrio nutricional sobre la planta.

Tratamiento magnético a las semillas de *Raphanus Sativus*

Yano, Ohashi, Harasaki y Fujiwara realizaron un experimento donde trataron magnéticamente a las semillas de *Raphanus Sativus* y reportaron decrecimiento, en el peso de la planta, y el área de las hojas; de las plantas cuyas semillas fueron tratadas magnéticamente, en comparación a las plantas de semillas de control. (como se cita en Zúñiga et al., 2016)

Capítulo 2

Planteamiento del problema y de la investigación

Pregunta de investigación

¿Cuál es la variación de la temperatura, conductividad eléctrica y pH del agua expuesta a campos magnéticos y su efecto en la altura y peso de la planta *Raphanus sativus*?

Hipótesis

Al exponer el agua a un campo magnético, la temperatura y la conductividad eléctrica de esta se incrementarán ligeramente en proporción a la intensidad del campo magnético expuesto, por el otro lado el pH disminuirá al incrementarse el campo magnético de exposición.

Si al disminuir el pH, este se aleja del rango óptimo, la altura y peso de las plantas regadas con ATM, serán menores que las de las plantas de control.

Variables

	Variables independientes	Variables dependientes	Variables controladas
En el tratamiento magnético del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de campo magnético 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Conductividad eléctrica • pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de exposición • Volumen del agua expuesta a campos magnéticos • Uso de agua potable • Temperatura ambiente • Presencia de campos magnéticos de objetos
Desarrollo de la planta <i>Raphanus sativus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidad de campo magnético 	<ul style="list-style-type: none"> • Altura de la planta • Peso de la planta 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de cosecha • Temperatura ambiente • Volumen de agua de riego • Fertilizante

Condiciones sobre configuración y principios éticos

Se mantuvo los imanes lejos de equipos electrónicos.

Se manipuló sensores Vernier de temperatura, conductividad eléctrica y pH calibrados en un punto establecido, en cuanto a los sensores de conductividad y pH, estos se sumergieron en agua destilada como un paso extra para la calibración. Se mantuvo los cables de los sensores separados uno de los otros, para no perjudicar las lecturas.

Se utilizó guardapolvo durante toda la experimentación, y se dio uso especial a guantes, para la siembra y cosecha de las plantas.

El tratamiento magnético no es una práctica agrónoma que deteriore y perjudique el desarrollo de las plantas

Capítulo 3

Procedimientos y métodos

Medición de la intensidad del campo magnético de los imanes sobre el agua.

Para medir la intensidad del campo magnético de los imanes a diferentes distancias del agua, se utilizó un método trigonométrico¹.

La intensidad de un campo magnético en un punto generado por imán, y su dependencia de la distancia entre el imán y dicho punto, se puede expresar de la siguiente manera:

$$|B| = \frac{k}{d^3}$$

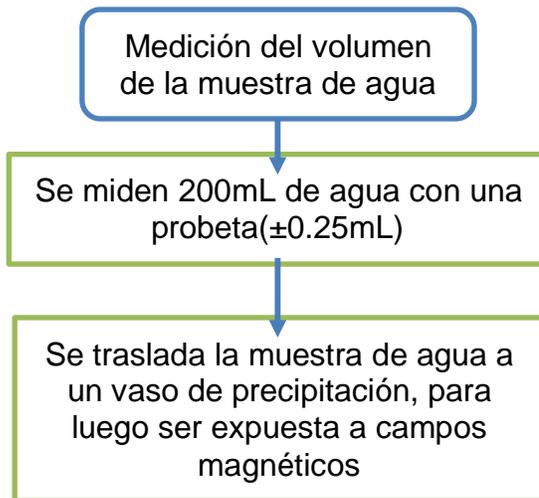
Ecuación 9

Donde $|B|$ es la intensidad de campo magnético, k es una constante de proporción, d es la distancia desde el centro del imán y el punto donde se genera una determinada intensidad de campo magnético.

Para determinar la constante, se medirá la intensidad del campo magnético a diferentes distancias de los imanes, luego se graficará la distancia de los imanes vs la intensidad del campo magnético generado a dichas distancias; se determinará la línea de mejor ajuste con la ayuda del software Microsoft Excel y se determinará su ecuación, la cual nos permitirá hallar la distancia para generar una determinada intensidad de campo magnético sobre el agua de: 97mT, 125mT, 143mT, 190mT y 260mT.

¹ Ver Capítulo 1

Medición del volumen del agua.



Medición de la variación de las variables física-química del agua durante el tiempo de exposición a campos magnéticos.

Para la medición de la temperatura del agua, se coloca el sensor de temperatura ($\pm 0.2^\circ\text{C}$) en una muestra de 200mL de agua. Luego de un tiempo de 5 horas de exposición, se toma como dato, la variación de la temperatura (variación en el eje y) de la muestra en el tiempo, que se presenta en la estadística del software LabQuest2. Se obtendrá la variación de la temperatura de 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto (97mT, 125mT, 143mT, 190mT y 260mT.)

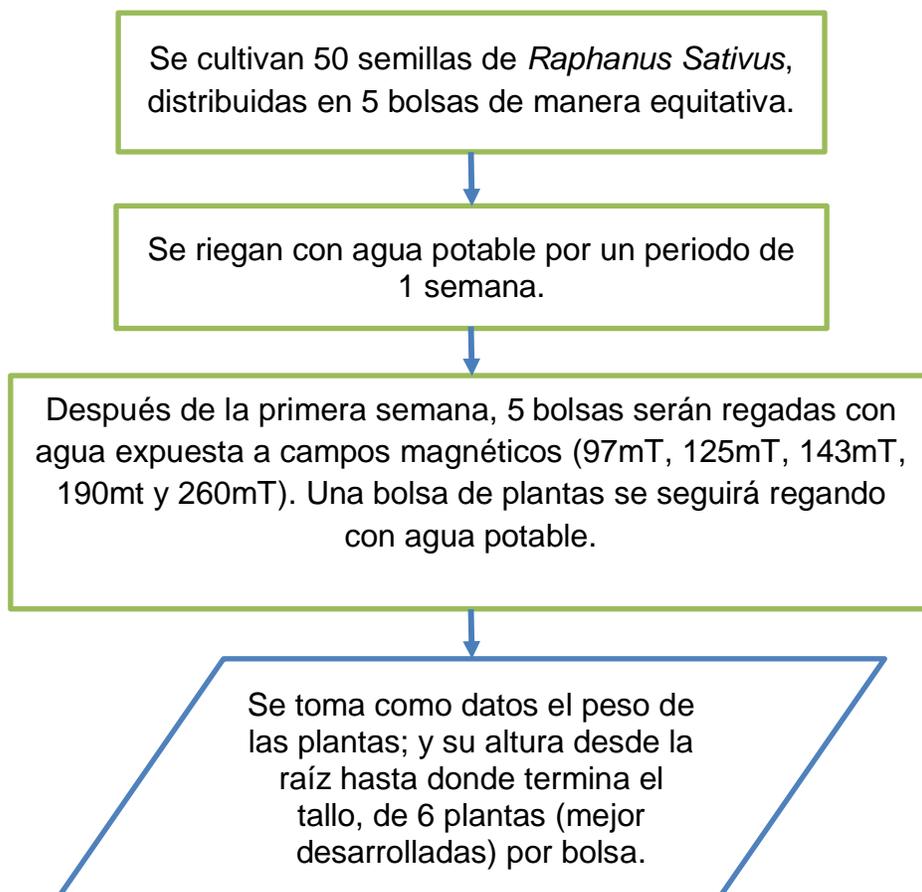
Se repite el mismo procedimiento para la medición de la variación de la conductividad eléctrica y pH, con los sensores de conductividad ($\pm 0.1 \mu\text{S/cm}$) y pH (± 0.2 pH unidades).

Luego para visualizar cómo varía las magnitudes en el tiempo de exposición, se trasladan los datos de la temperatura del agua cada 0.001h, en gráficas donde represente el valor de la magnitud vs el tiempo de exposición.

Control de variables.

Variable	Método de control
Tiempo de exposición	El tiempo de exposición del campo magnético al agua es de 5 horas
Campo magnético terrestre	Se realiza el experimento en un mismo lugar. El campo magnético terrestre en Pimentel, según el modelo magnético mundial es: 0.0273824mT
Temperatura ambiente	El experimento se lleva a cabo en una habitación cerrada. (19°C aproximadamente)
Presencia de campos magnéticos de objetos	Se remueve objetos magnéticos del laboratorio que puedan afectar la intensidad de campo magnético expuesta al agua.
Uso de agua potable	Se utiliza agua potable

Germinación de las semillas del *Raphanus sativus*.



Control de variables.

Variable	Método de control
Tiempo de germinación	Las plantas se cosecharán después de 4 semanas del día 1 de siembra
Temperatura ambiente	El experimento se lleva a cabo en una habitación cerrada. (19°C aproximadamente)
Uso de fertilizantes	Se mezcla 300g de humus de lombriz con 500g de tierra de cultivo, que posteriormente se colocan en las bolsas de germinación.
Efectividad de las semillas	Se utiliza agua potable (no expuesta a campos magnéticos) para regar a las plantas durante 1 semana, con el objetivo de eliminar la calidad de las semillas como factor que afecta el desarrollo de las plantas.

Capítulo 4

Datos obtenidos y análisis

Datos brutos

Tratamiento magnético del agua

Tabla 1: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y variación de la temperatura.

Intensidad de campo magnético(mT)	Variación de la temperatura (°C) ±0.2 °C				
	T1	T2	T3	T4	T5
0	-1.5	-1.5	-1.6	-1.6	-1.6
97	-1.4	-1.4	-1.6	-1.4	-1.4
125	-1.2	-1.3	-1.2	-1.2	-1.3
143	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.3
190	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
260	-0.9	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8

Se muestra los datos de la variación de la temperatura de 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto.

Tabla 2: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y variación de la conductividad eléctrica.

Intensidad de campo magnético(mT)	Variación de la conductividad eléctrica(μS/cm) ±0.1 μS/cm				
	C1	C2	C3	C4	C5
0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.4
97	1.9	2.3	2.1	2.1	2.2
125	2.0	2.2	2.1	2.2	2.3
143	2.4	2.7	2.6	2.5	2.8
190	2.7	2.8	2.7	2.9	3.0
260	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0

Se muestra los datos de la variación de la conductividad eléctrica de 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto.

Tabla 3: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y variación del pH.

Intensidad de campo magnético(mT)	Variación del pH (unidades pH) ± 0.2 pH				
	pH1	pH2	pH3	pH4	pH5
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
97	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
125	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
143	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
190	1.6	1.6	2.8	2.3	1.8
260	2.0	2.1	2.1	2.1	3.4

Se muestra los datos de la variación del pH 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto.

Desarrollo del *Raphanus Sativus*

Tabla 4: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua de riego y peso de las plantas *Raphanus Sativus*.

Intensidad de campo magnético(mT)	Peso de la planta <i>Raphanus Sativus</i> (g) ± 0.1 g					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
97	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
125	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
143	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
190	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
260	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3

Se muestra los datos del peso de 6 grupos, de 6 plantas *Raphanus Sativus*, regados con agua expuesta a 6 diferentes intensidades de campo magnético.

Tabla 5: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua de riego y altura de las plantas *Raphanus Sativus*.

Intensidad de campo magnético(mT)	Altura de la planta <i>Raphanus Sativus</i> (cm) ± 0.05 cm					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
0	15.20	15.60	15.40	15.10	15.50	15.30
97	15.40	15.00	15.80	15.90	15.20	15.60
125	16.90	16.80	16.60	16.80	16.50	17.00
143	17.10	17.50	17.60	17.40	17.30	17.60
190	18.50	18.10	17.90	18.30	18.00	17.90
260	18.20	18.40	18.30	18.70	18.50	18.50

Se muestra los datos de la altura de 6 grupos, de 6 plantas *Raphanus Sativus*, regados con agua expuesta a 6 intensidades de campo magnético.

Datos procesados

Tratamiento magnético del agua.

Tabla 6: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y el promedio de la variación de la temperatura del agua.

Intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre absoluta de la intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre porcentual de la intensidad de campo magnético	Promedio de la variación de la temperatura(°C)	Incertidumbre absoluta del promedio de la variación de la temperatura(°C)
0	0	0	-1.6	0.0
97	13	13%	-1.5	0.1
125	17	14%	-1.3	0.0
143	20	14%	-1.1	0.1
190	28	15%	-1.0	0.0
260	41	16%	-0.8	0.1

Se muestra el promedio de la variación de la temperatura de 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto.

Tabla 7: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y promedio de la variación de la conductividad eléctrica del agua.

Intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre absoluta de la intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre porcentual de la intensidad de campo magnético	Promedio de la variación de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Incertidumbre absoluta del promedio de la variación de la conductividad eléctrica
0	0	0	1.4	0.1
97	13	13%	2.1	0.2
125	17	14%	2.2	0.1
143	20	14%	2.6	0.2
190	28	15%	2.8	0.2
260	41	16%	3.0	0.1

Se muestra el promedio de la variación de la conductividad eléctrica de 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto.

Tabla 8: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y el promedio de la variación del pH del agua.

Intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre absoluta de la intensidad de	Incertidumbre porcentual de la intensidad de campo	Promedio de la variación del pH	Incertidumbre absoluta del promedio de la
0	0	0	0.0	0.0
97	13	13%	0.8	0.0
125	17	14%	1.5	0.0
143	20	14%	1.6	0.1
190	28	15%	2.0	0.6
260	41	16%	2.3	0.7

Se muestra el promedio de la variación del pH de 5 muestras de agua, por cada intensidad de campo magnético expuesto.

Desarrollo de la planta *Raphanus Sativus*

Tabla 9: Intensidad de campo magnético al que fue expuesta el agua y peso de las plantas

Intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre porcentual de la intensidad del campo magnético	Peso de la planta promedio(g)	Incertidumbre absoluta del peso promedio de la planta(g)
0	0%	0.3	0.0
97	13%	0.3	0.0
125	14%	0.3	0.0
143	14%	0.3	0.0
190	15%	0.4	0.1
260	16%	0.4	0.1

Se muestra el peso promedio de los 6 grupos de plantas, al ser regados con agua expuesta a 6 intensidades de campo magnético.

Tabla 10: Intensidad de campo magnético al que expuesta el agua y altura de la plantas.

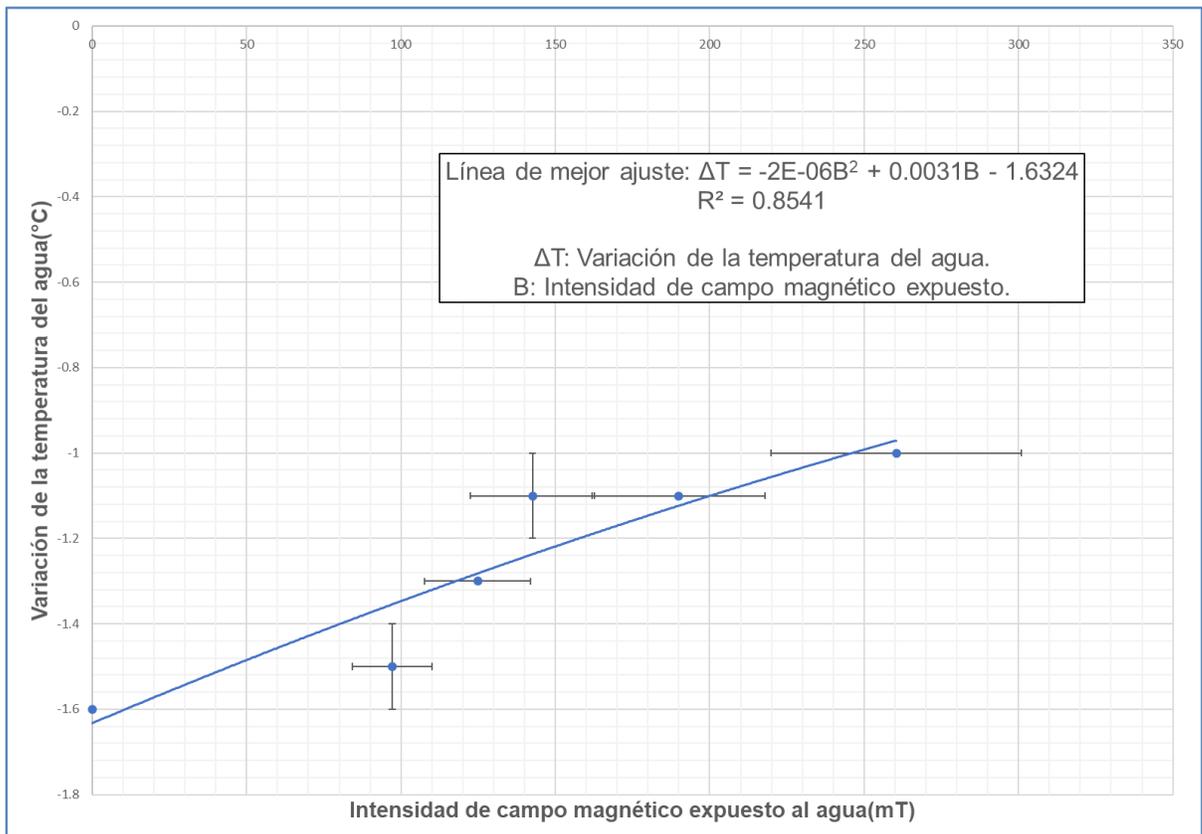
Intensidad de campo magnético(mT)	Incertidumbre porcentual de la intensidad del campo magnético	Altura de la planta promedio(cm)	Incertidumbre absoluta de la altura promedio de la planta(cm)
0	0%	15.35	0.19
97	13%	15.48	0.35
125	14%	16.77	0.19
143	14%	17.42	0.19
190	15%	18.12	0.24
260	16%	18.43	0.18

Se muestra la altura promedio de los 6 grupos de plantas, al ser regados con agua expuesta a 6 intensidades de campo magnético.

Gráficas

Variación de las variables físico-químicas del agua en relación a la intensidad de campo magnético expuesto.

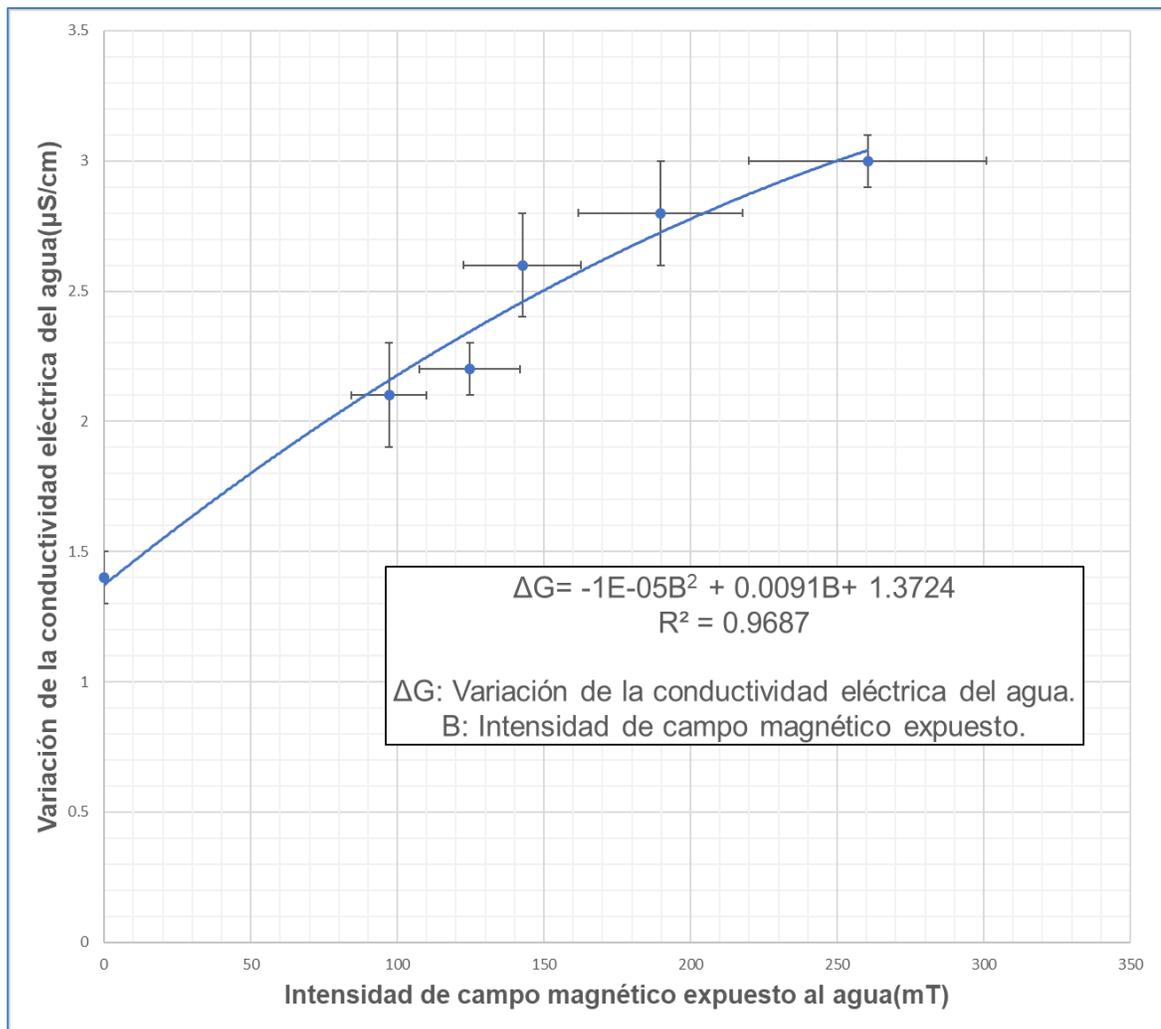
Gráfica 1: Variación de la temperatura del agua vs Intensidad de campo magnético expuesto.



La **gráfica 1** nos presenta la correlación positiva entre la variación temperatura del agua al ser expuesta a un campo magnético, y la intensidad de dicho campo. También nos permite demostrar que un campo magnético proporciona energía potencial a las moléculas de agua, parte de dicha energía se transforma en energía cinética de las moléculas, y ello significa un aumento de temperatura en el agua.

Las barras de error en el eje Y, no son muy grandes porque la variación en la temperatura es ligera.

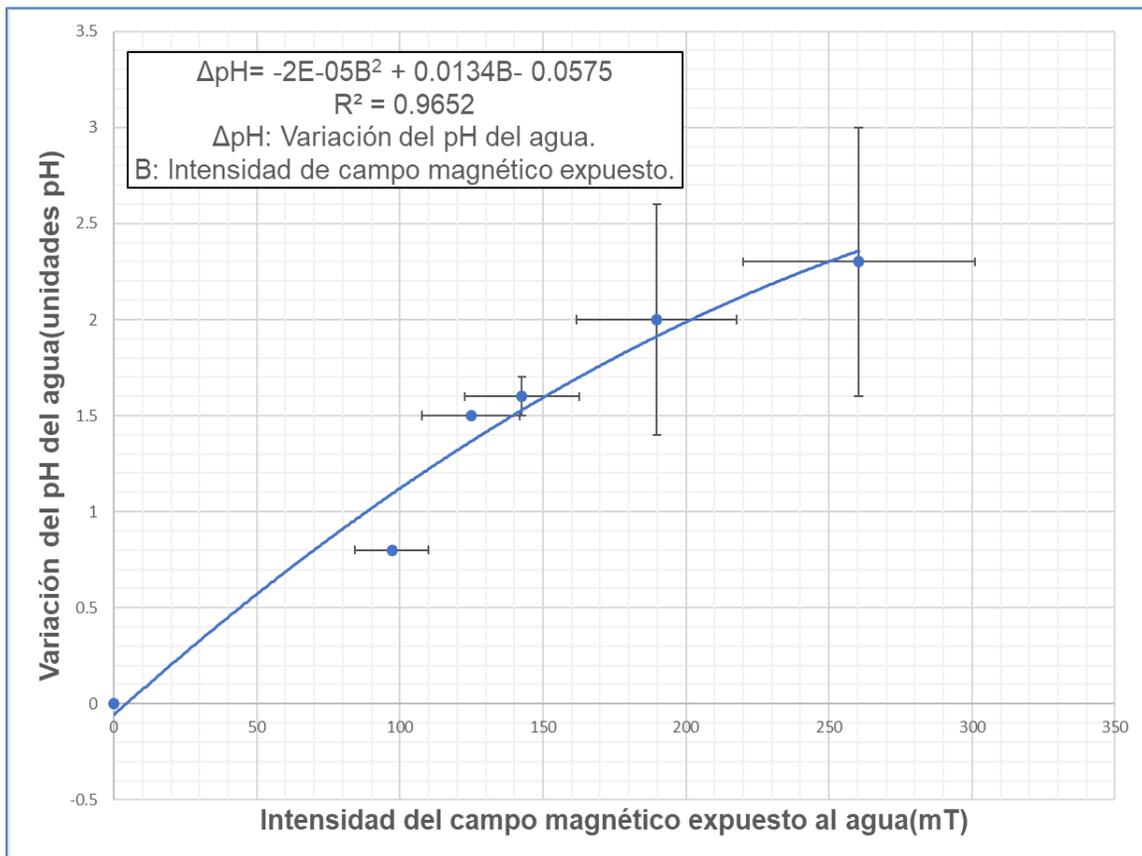
Gráfica 2: Variación de la conductividad eléctrica del agua vs Intensidad de campo magnético expuesto.



En la **gráfica 2** se puede apreciar la correlación positiva entre la variación de la conductividad eléctrica del agua al ser expuesta a un campo magnético, y la intensidad de dicho campo. Estos resultados nos permiten sustentar que, a mayor campo magnético, los iones del agua tienen mayor movilidad de transporte de la corriente eléctrica; y coinciden con los reportes de Ibraim.

Las barras de error en el eje Y son muy apreciables, ya que la variación de la conductividad eléctrica es considerable.

Gráfica 3: Variación del pH del agua vs Intensidad de campo magnético expuesto.

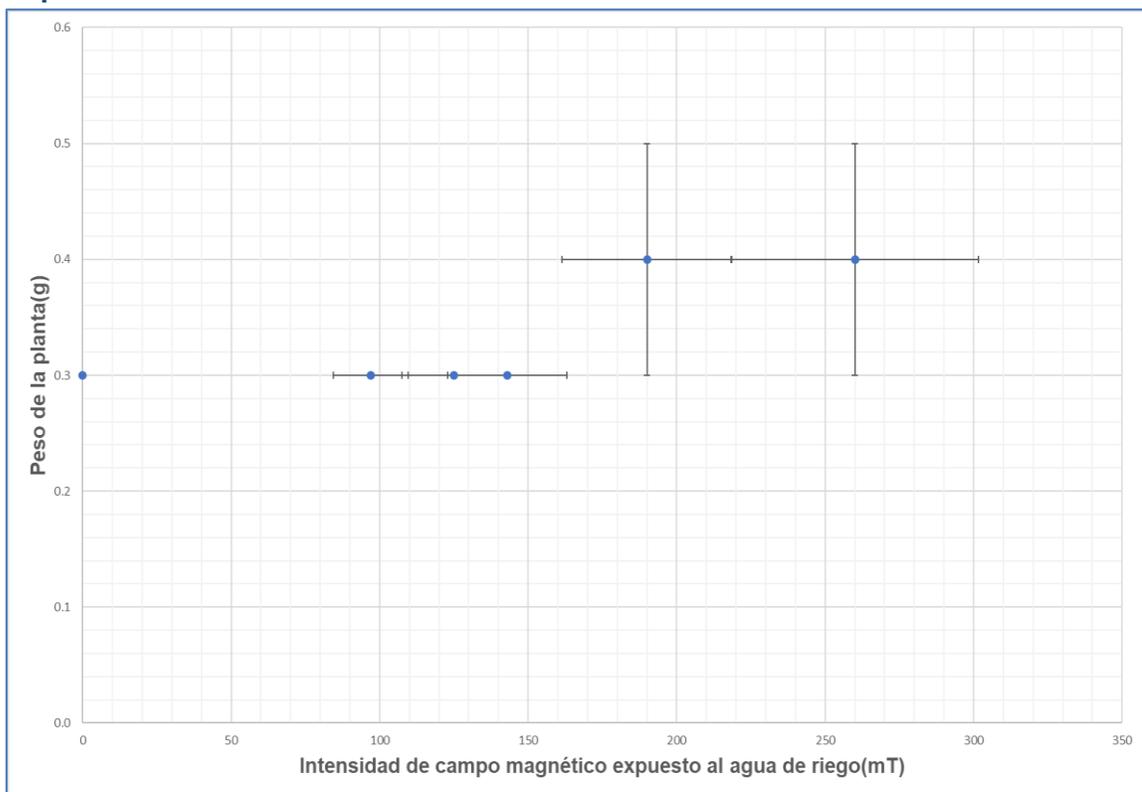


En la **gráfica 3** se aprecia la correlación positiva entre la intensidad de campo magnético al que es expuesta el agua, y la variación del pH. Estos resultados coinciden con los reportes de Amor, Elaoud y Hozayn.

Las barras de error en el eje y se van incrementando a medida que aumenta la intensidad del campo magnético, ya que la variación del pH es relativamente mucho mayor que las variaciones de las otras magnitudes.

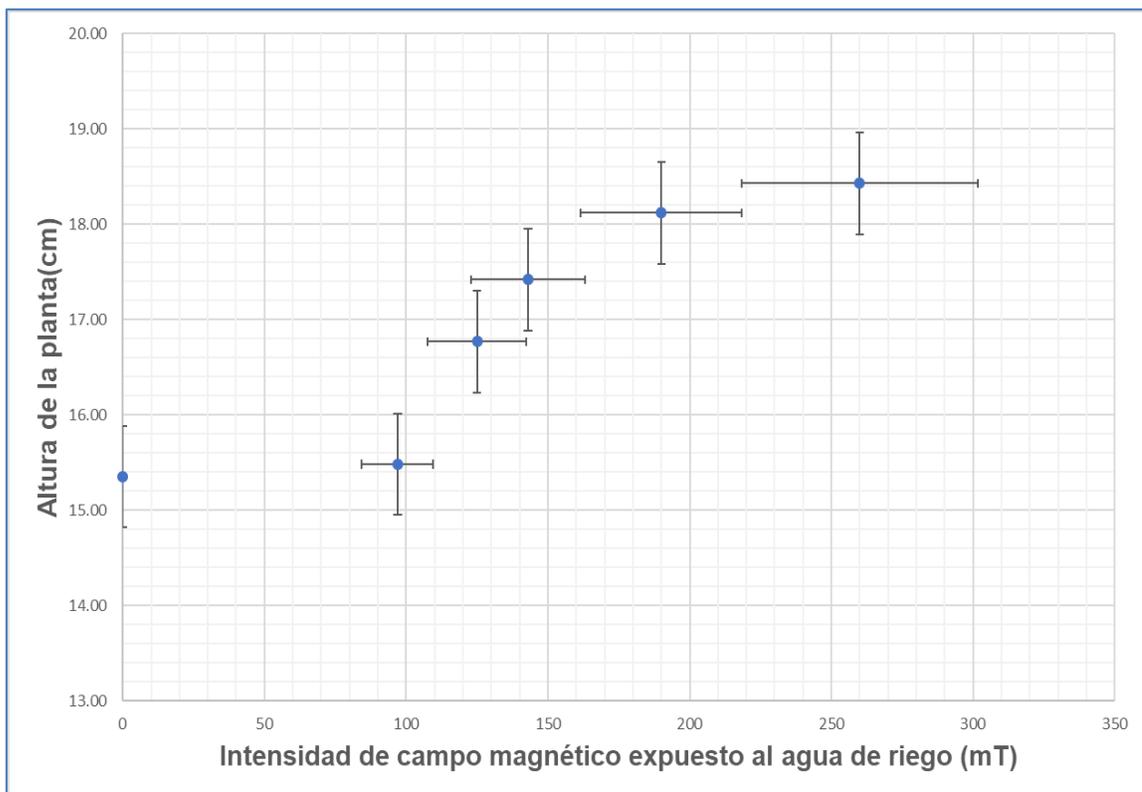
Peso y altura de la planta *Raphanus Sativus* en relación a la intensidad de campo magnético expuesto al agua de riego.

Gráfica 4: Peso de la planta *Raphanus Sativus* vs Intensidad de campo magnético expuesto.



En la **gráfica 4** se puede denotar la correlación positiva entre el peso de la planta, y la intensidad del campo magnético al que se le expone al agua con la que se riega a dicha planta. Vemos que la variación es muy mínima, ya que pequeñas variaciones en el peso no pueden ser medidas con una balanza cuya mínima medida es 0.1g.

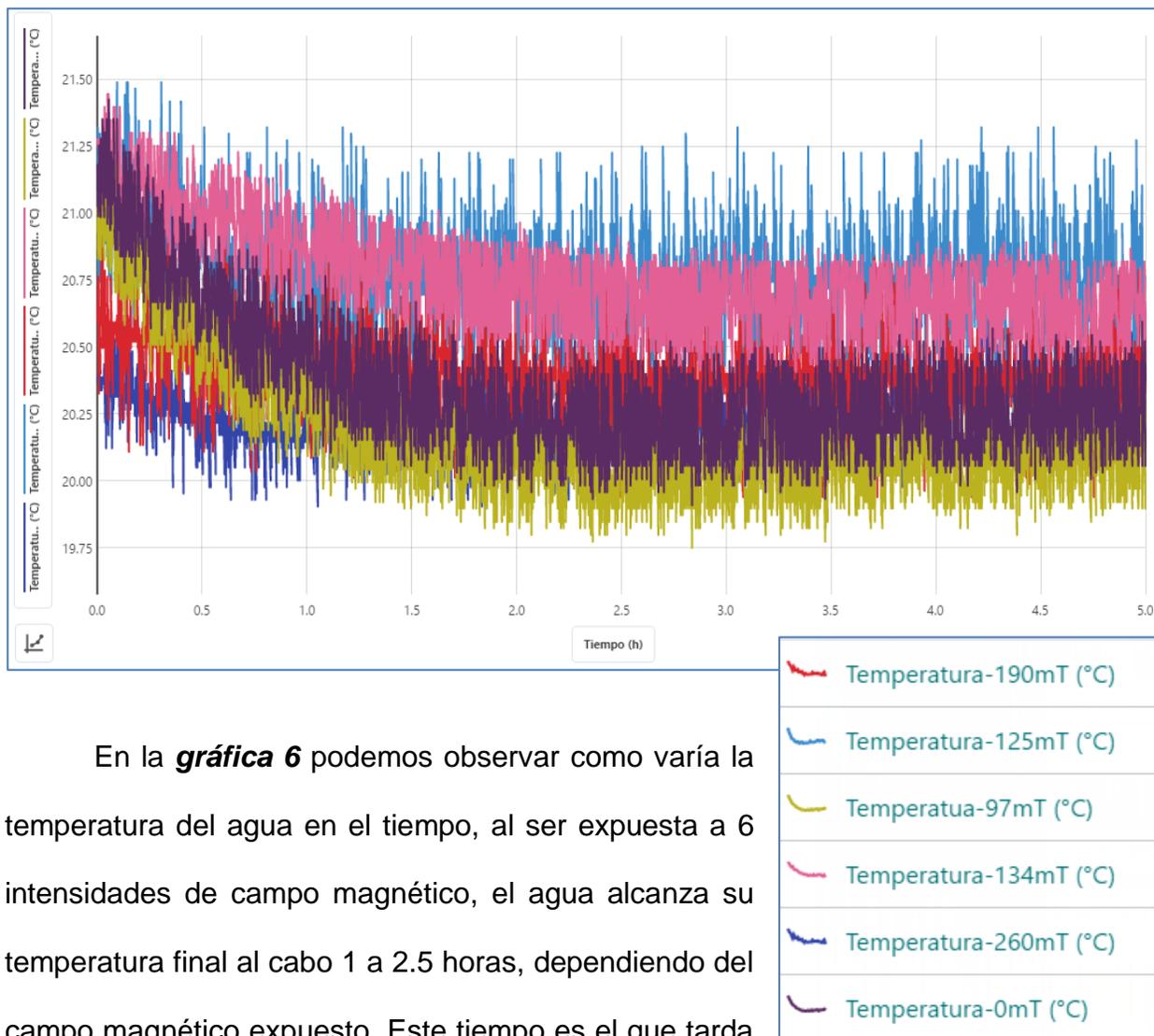
Gráfica 5: Altura de la planta *Raphanus Sativus* vs Intensidad de campo magnético expuesto al agua de riego.



En la **gráfica 5** se puede visualizar la correlación positiva entre la altura de la planta, y la intensidad del campo magnético al que se le expone al agua con la que se riega a dicha planta. Se puede denotar considerables variaciones en la altura de la planta, a mayor intensidad campo magnético expuesta al agua de riego.

Variación de las variables físicos-químicas del agua al ser expuesta a 6 campos magnéticos, en el tiempo.

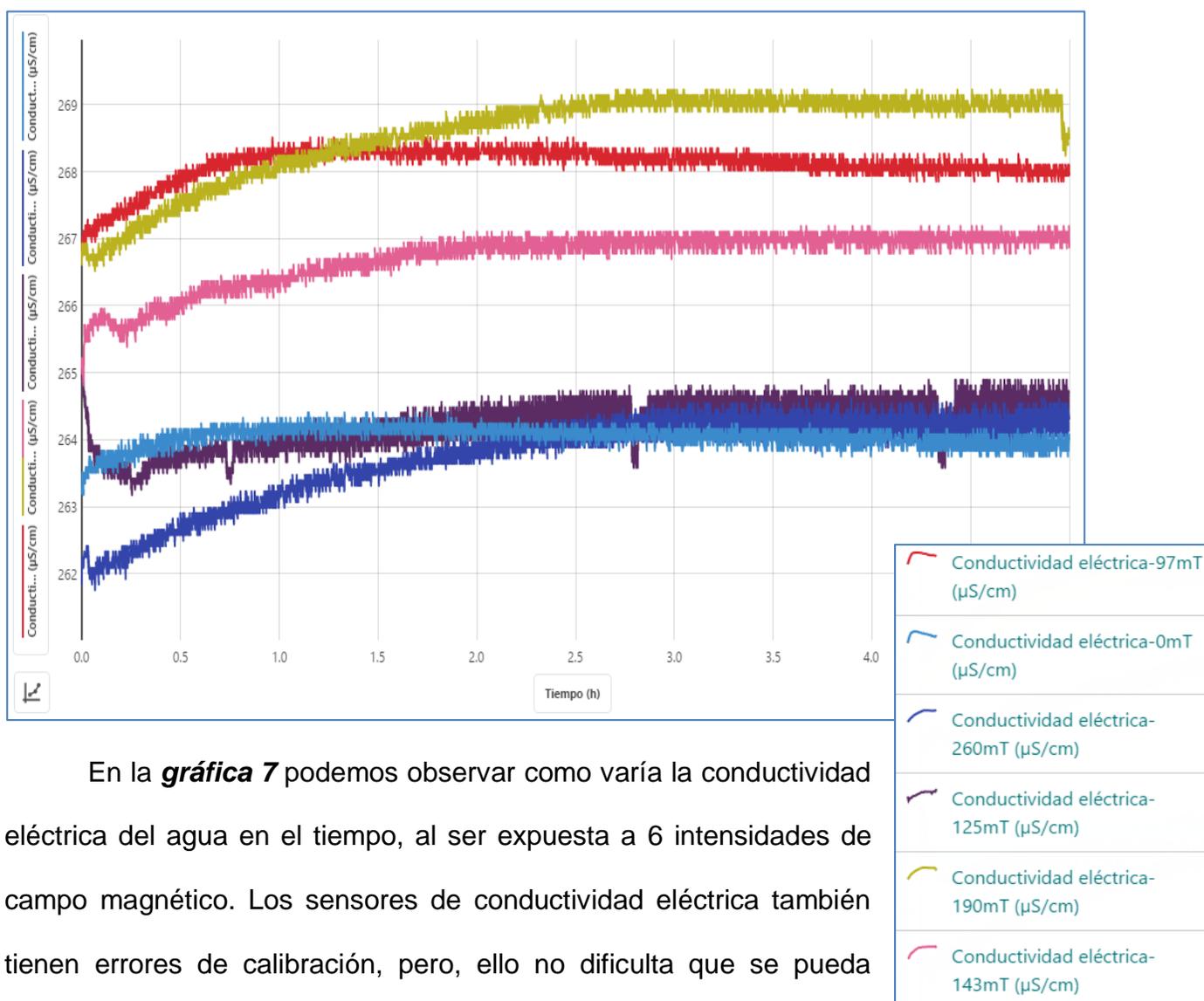
Gráfica 6: Temperatura de 6 muestras de agua expuesta a 6 intensidades de campo magnético, en un tiempo de exposición de 5 horas.



En la **gráfica 6** podemos observar como varía la temperatura del agua en el tiempo, al ser expuesta a 6 intensidades de campo magnético, el agua alcanza su temperatura final al cabo 1 a 2.5 horas, dependiendo del campo magnético expuesto. Este tiempo es el que tarda el agua en alcanzar el equilibrio térmico con su entorno. El agua desciende su temperatura, ya que, esta se encuentra entre 20°C a 21°C, mientras la habitación se encuentra a aproximadamente a 19°C. Debido al error de calibración de los sensores de temperatura, las 6 muestras de agua, tienen temperaturas iniciales diferentes, sin

embargo, podemos denotar que, a ciertas intensidades de campo magnético, la temperatura del agua desciende en diferentes proporciones. Por ejemplo, vemos que el agua al no ser expuesta a un campo magnético (0mT), desciende mayor su temperatura, que otras muestras de agua expuestas a campos magnéticos, ello significa que el agua expuesta a un campo magnético tiene una mayor temperatura en el tiempo que el agua de control.

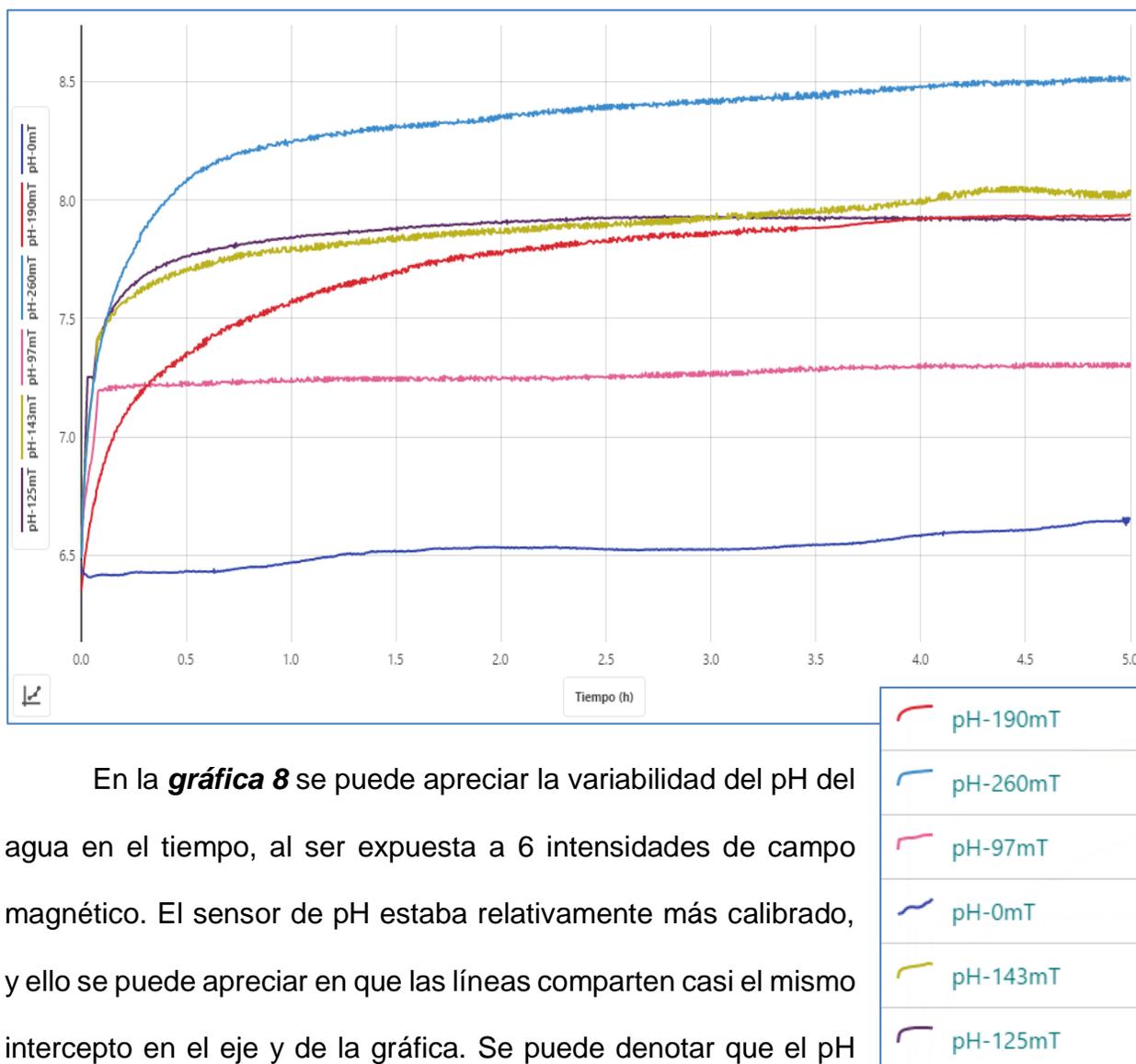
Gráfica 7: Conductividad eléctrica de 6 muestras de agua expuestas a 6 intensidades de campo magnético, en un tiempo de exposición de 5 horas.



En la **gráfica 7** podemos observar como varía la conductividad eléctrica del agua en el tiempo, al ser expuesta a 6 intensidades de campo magnético. Los sensores de conductividad eléctrica también tienen errores de calibración, pero, ello no dificulta que se pueda

apreciar que el agua al ser expuesta a un campo magnético, varíe positivamente su conductividad eléctrica en el tiempo. Podemos ver que, a un campo de 260mT de exposición, el agua tiene una mayor variación en su conductividad, en cambio al no ser expuesta a un campo magnético (0mT), su conductividad no varía mucho. Además, se puede denotar que el agua alcanza su conductividad eléctrica final al cabo de 1 a 2.5 horas, dependiendo del campo magnético expuesto.

Gráfica 8: pH de 6 muestras de agua expuestas a 6 intensidades de campo magnético, en un tiempo de exposición de 5 horas.



En la **gráfica 8** se puede apreciar la variabilidad del pH del agua en el tiempo, al ser expuesta a 6 intensidades de campo magnético. El sensor de pH estaba relativamente más calibrado, y ello se puede apreciar en que las líneas comparten casi el mismo intercepto en el eje y de la gráfica. Se puede denotar que el pH

del agua tarda más tiempo en llegar a su valor final, que puede variar desde 20 minutos a 5 horas, o más, dependiendo del campo magnético expuesto. Adicionalmente se puede observar que un campo magnético de 260mT logra una mayor variación en el pH; por el otro lado, el agua a no ser expuesta a ningún campo magnético (0mT), su pH no presenta una considerable variación en el tiempo.

Si comparamos las gráficas **6,7 y 8**, la variación del pH es relativamente mucho mayor al que las otras dos magnitudes. El hecho que el pH incremente al igual que la temperatura en el tiempo sugiere que la variación del pH no está sujeta al cambio de temperatura. Por el otro lado, la temperatura y la conductividad del agua alcanzan su valor final aproximadamente en el mismo tiempo, ello valida la relación entre las dos magnitudes.

Conclusiones

Como hemos visto en la **gráfica 1**, la variación de la **temperatura del agua** está positivamente relacionado con la intensidad del campo magnético al que se le expone el agua. La línea de mejor ajuste es una función cuadrática. En la **gráfica 6**, hemos visto que el tiempo de exposición efectivo para incrementar la temperatura del agua a un valor estable es de 1 a 2.5 horas, dependiendo de la intensidad de campo magnético al que se le expone al agua. No obstante, la variación de la magnitud es muy mínimo, alcanzando como valor máximo de $+0.7^{\circ}\text{C}$ mayor comparado con el del agua de control.

La **gráfica 2**, demuestra la correlación positiva entre la variación de la **conductividad eléctrica del agua**, y la intensidad de campo magnético al que se le expone el agua. La línea de mejor ajuste es una función cuadrática. En la **gráfica 7**, se puede determinar que el tiempo de exposición efectivo para incrementar la conductividad del agua, a un valor estable es aproximadamente entre 1 a 2.5 horas, dependiendo de la intensidad de campo magnético al que se le expone al agua. La mayor variación de la conductividad eléctrica fue de $+1.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ mayor al que del agua de control.

El hecho que el tiempo de exposición para aumentar la conductividad eléctrica y la temperatura del agua, sean cercanos, da mayor validez a la relación entre dichas variables, la cual explica el efecto del campo magnético en las propiedades físicas-químicas del agua.

Sin embargo, la **gráfica 3**, presenta que la variación del **pH del agua** está positivamente correlacionado con la intensidad de campo magnético al que se le expone

al agua. La línea de mejor ajuste fue una función cuadrática. Mediante la **gráfica 8**, no fue posible determinar un tiempo de exposición aproximado para incrementar el pH a un valor estable, ya que este puede variar entre 20 minutos, o más de 5 horas, dependiendo de la intensidad de campo magnético al que se le expone al agua. La mayor variación del pH fue +2.3 unidades pH mayor al del agua de control.

En cuanto a las propiedades físicas de la planta *Raphanus Sativus*: peso y altura, vemos que estas varían positivamente en relación a la intensidad del campo magnético al que se le expone al agua de riego. La **gráfica 4** sugiere una mínima variación del peso de la planta al ser regada con agua expuesta a un campo magnético, siendo el máximo peso +0.1g mayor que el de las plantas de control. La **gráfica 5** muestra una considerable variación de la altura de la planta al ser regada con agua expuesta a un campo magnético, siendo la máxima altura +3.08cm mayor que la de las plantas de control. La ligera variación de las propiedades de la planta puede estar relacionado con el hecho que la variación de las propiedades del agua, al ser expuesta a campos magnéticos, es mínima, con los rangos de intensidad de campo magnéticos utilizados.

Mejora de la investigación

La primera mejora que se recomienda es la medición del campo magnético con el uso de un sensor de campo magnético; debido a que la intensidad del campo magnético disminuye con el cubo de la distancia, un mínimo error en la medición de la distancia, provoca una gran incertidumbre en la medición del campo magnético. Además, se propone utilizar mayores rangos de intensidad de campo magnético para poder hallar de manera más precisa la naturaleza de la relación entre la intensidad del campo magnético al que es expuesta el agua y la variación de sus propiedades (temperatura, conductividad eléctrica y pH). Se sugiere que los rangos de la intensidad de campo magnético sean altos (mayores a 1000mT aproximadamente) para poder provocar una mayor variabilidad en las propiedades físico-químicas, y en las propiedades de la planta *Raphanus Sativus*. Cabe mencionar que sería conveniente un estudio con tiempo de exposición de 1 día, para poder concluir de manera más acertada la variabilidad de las magnitudes, en especial la del pH.

Podría lograrse mayores efectos en la variabilidad de las propiedades físicas-químicas del agua, si es que se le expone campos magnéticos a agua circulando, ya que actuarían fuerzas de Lorenz en los iones del agua.

Como segunda recomendación, se sugiere que se riegue las plantas con agua tratada magnéticamente desde el primer día de siembra, ya podría encontrarse efectos en su germinación más resaltantes.

Para expandir la investigación y poder comparar y contrastar con los hallazgos y las teorías de la comunidad científica sobre el tratamiento magnético del agua, se

propone el estudio de variables físicas y químicas que se relacionen con los puentes de hidrógeno, como el punto de ebullición y la capacidad calórica del agua. En el presente trabajo se pudo comparar y contrastar los resultados de otras investigaciones, pero no se pudo refutar teorías científicas, por ejemplo, la teoría de la *formación de grupos moleculares del agua*.

Bibliografía

- Bauer, W., & Westfall, G. (2011). *Física para ingeniería y ciencias: Volumen 2* (1st ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, pp.937-867.
- Hein, M. and Arena, S. (1997). *Fundamentos de Química*. 14th ed. México: International Thomson Editores, pp.290-312.
- Wanga, Y., Wei, H., & Li, Z. (2017). *Effect of magnetic field on the physical properties of water*. Elsevier, 8, 262-267. Recuperado el 18 de agosto del 2018, de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379717317230>
- Zúñiga, O., Benavides, A., Ospina-Salazar, D., Jiménez, O., y Gutiérrez, Mauricio A. (2016). *Magnetic treatment of irrigation water and seeds in agriculture. Ingeniería y competitividad*, 18(2), 217-232. Recuperado el 18 de agosto del 2018, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332016000200020&lng=en&tlng=en.
- H Ibrahim, I. (2006). *Biophysical Properties of Magnetized Distilled Water. Egypt J Sol*, 29(2), 363-370. Recuperado el 18 de agosto del 2018, de: <http://egmrs.powweb.com/EJS/PDF/vol292/363.pdf>
- Amor, H., Elaoud, A., Hozayn, M. (2018) *Does Magnetic Field Change Water pH?. Asian Research Journal of Agriculture*, 8(1), 1-7. Recuperado el 18 de agosto del 2018, de: http://www.journalrepository.org/media/journals/ARJA_47/2018/Feb/Hozayn812018ARJA39196.pdf.

Mispireta, C. (2012). *Correlación de la viscosidad con la energía potencial ion-dipolo en soluciones acuosas y acetónicas de hexafluorofosfato y tetrafluoroborato de 1-n-butil-3-metilimidazolio (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Hayashi, M. (2004). *Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 96, 119-128. <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000031719.83065.68>.

The magnetic moment of a bar magnet and the horizontal component of the earth's magnetic field. Recuperado el 10 de junio del 2018, de <http://collegeofsanmateo.edu/physics/docs/physics260/lab16.pdf>

The Magnetic Field of a Permanent Magnet. Recuperado el 05 de junio del 2018, de: http://www2.vernier.com/sample_labs/PWV-31-COMP-magnetic_field_permanent_magnet.pdf

Hrma, Pavel & R, Pavel. (2008). *Arrhenius Model for High-Temperature Glass-Viscosity with a Constant Pre-Exponential Factor*. *Journal of Non-crystalline Solids - J NON-CRYST SOLIDS*. 354. 1962-1968. 10.1016/j.jnoncrysol.2007.11.016.

Hamid Iqbal Tak, Yahya Bakhtiyar, Faheem Ahmad and Arif Inam (2012). *Effluent Quality Parameters for Safe use in Agriculture, Water Quality, Soil and Managing Irrigation of Crops*, Dr. Teang Shui Lee (Ed.), ISBN: 978-953-51-0426-1, InTech, Recuperado el 10 de junio del 2018, de: <http://www.intechopen.com/books/water-quality-soil-and-managingirrigation-of-crops/effluent-quality-parameters-for-safe-use-in-agriculture>

Anexos

Anexo 1: Medición del campo magnético.

Tabla 11: Intensidad de campo magnético y ángulo de inclinación de la brújula.

Intensidad de campo magnético de la Tierra(mT)	Distancia(cm) ± 0.05	Ángulo de declinación($^{\circ}$) $\pm 0.1^{\circ}$					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
0.0273824	15.00	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0	88.0
	15.50	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0
	21.00	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0	82.0
	22.00	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
	25.00	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0
	26.00	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	27.00	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0	72.0
	28.00	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
	30.00	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0

Se muestra los ángulos de inclinación de la brújula al estar a determinadas distancias de los imanes de neodimio. La medición del ángulo se repite 6 veces por distancia.

Tabla 12: Intensidad de campo magnético y distancia de exposición.

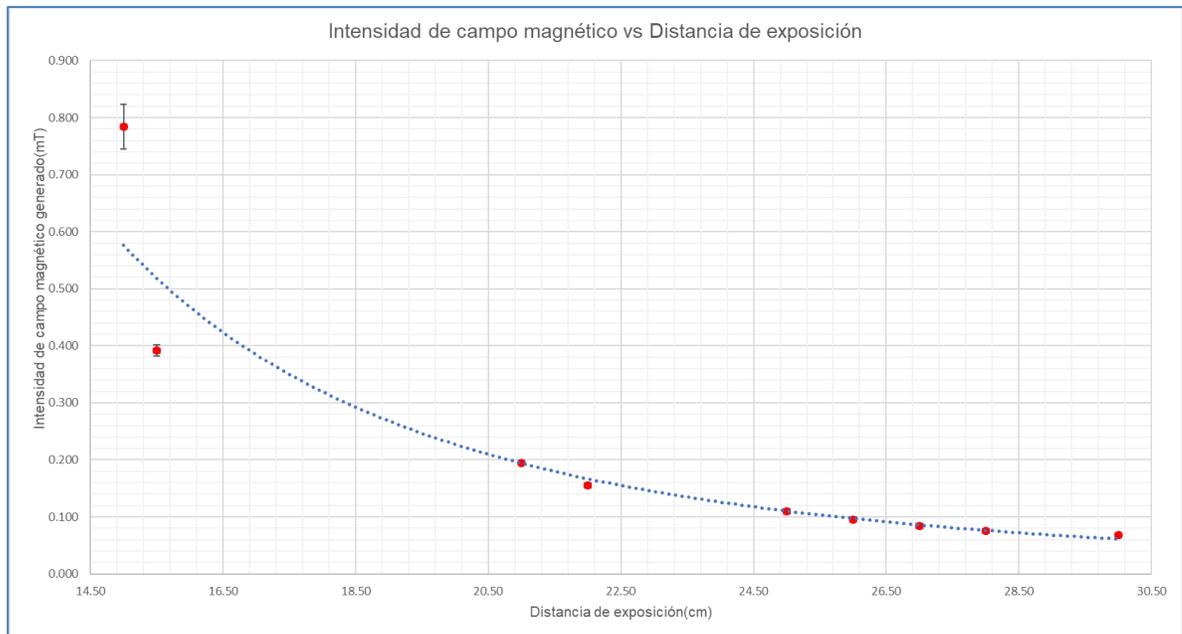
Intensidad de campo magnético de la Tierra(mT)	Distancia(cm) ± 0.05	Ángulo de inclinación promedio	Incertidumbre del ángulo de inclinación promedio
0.0273824	15.00	88.0	0.1
	15.50	86.0	0.1
	21.00	82.0	0.1
	22.00	80.0	0.1
	25.00	76.0	0.1
	26.00	74.0	0.1
	27.00	72.0	0.1
	28.00	70.0	0.1
	30.00	68.0	0.1

Se muestra el ángulo de inclinación promedio de la brújula al estar a determinadas distancias de los imanes de neodimio.

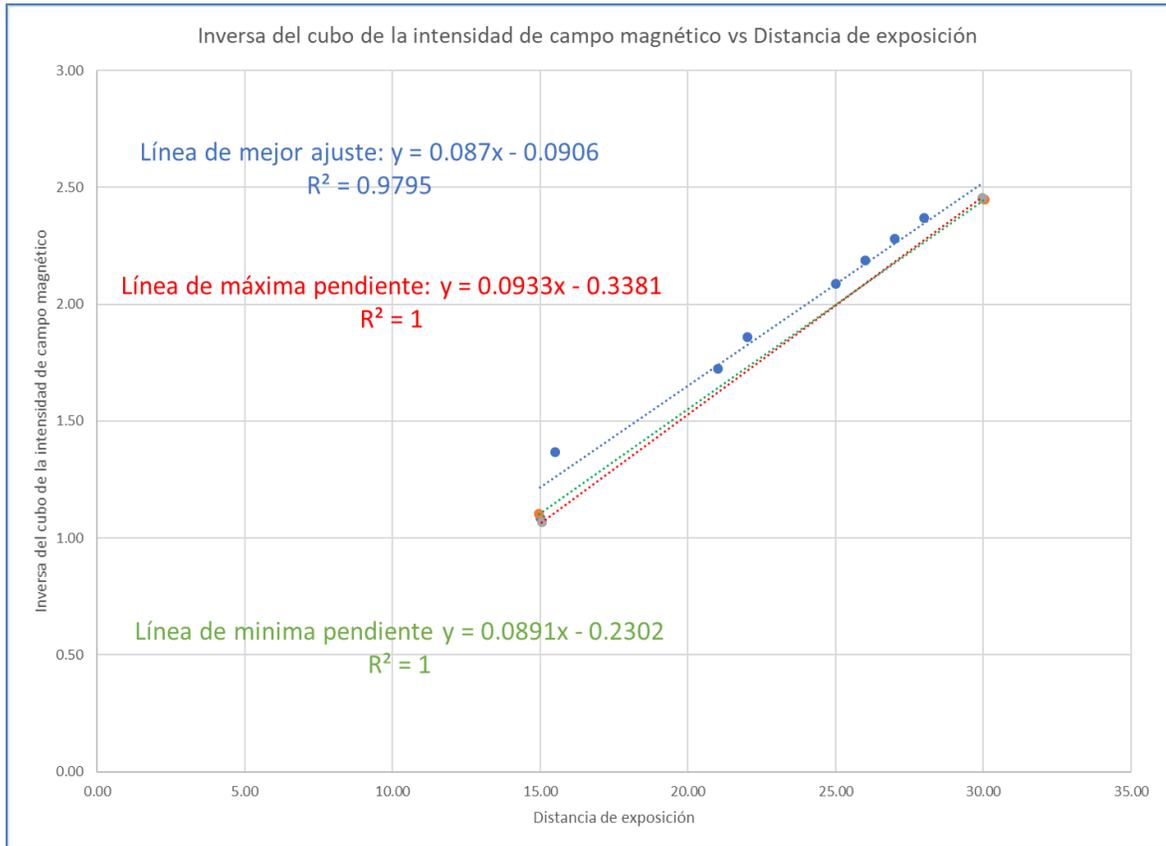
Tabla 13: Intensidad de campo magnético y su incertidumbre.

Distancia(cm)	Intensidad de campo magnético promedio(mT)	Incertidumbre de la intensidad de campo magnético
15.00	0.784	0.039
15.50	0.392	0.010
21.00	0.195	0.002
22.00	0.155	0.002
25.00	0.110	0.001
26.00	0.095	0.001
27.00	0.084	0.001
28.00	0.075	0.000
30.00	0.068	0.000

Gráfica 9: Intensidad de campo magnético vs Distancia de exposición.



Gráfica 10: Linealización de la gráfica Intensidad de campo magnético vs distancia de exposición.



Ecuación para calcular la intensidad de campo magnético (mT) de los imanes de neodimio para una distancia de exposición(cm) determinada:

$$B = \frac{1519}{d^3}$$

Ecuación 10

Error absoluto de la constante de la ecuación 10: $\pm 110 \text{mTcm}^{-1}$

Anexo 2: Fotografías de las plantas *Raphanus Sativus*

Primera semana después de la siembra



Cuarta semana después de la siembra



Ilustración 1: Plantas regadas con agua expuesta a 260mT



Ilustración 1: Plantas regadas con agua expuesta a 190mT



Ilustración 3: Plantas regadas con agua expuesta a 143mT



Ilustración 4: Plantas regadas con agua expuesta a 125mT



Ilustración 5: Plantas regadas con agua expuesta a 97mT



Ilustración 6: Plantas regadas con agua expuesta a 0mT