

MONOGRAFÍA DE FÍSICA

Convocatoria: Noviembre 2019

Calentamiento óhmico y aplicación de campos magnéticos en la conservación del jugo de naranja

¿Cuál es el efecto de la aplicación de campos magnéticos y del calentamiento óhmico sobre la conductividad eléctrica, pH y temperatura del jugo de naranja?

N.º de palabras: 3990

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I:	11
Marco Teórico	11
1.1. Conservación de alimentos.....	11
1.2. Campos magnéticos	12
1.2.1. Cálculo del campo magnético terrestre	12
1.2.1. Método trigonométrico para hallar el campo magnético generado por un objeto magnético	13
1.2.2. Variación del campo magnético generado por un imán y la distancia desde su centro.	14
1.2.3. Uso de campos magnéticos en la conservación de alimentos	14
1.3. Calentamiento óhmico	15
1.4. Conductividad eléctrica.....	15
1.5. pH.....	16
CAPITULO II:	17
Planteamiento Del Problema y de la Experimentación	17
2.1. Variables.....	17
2.2. Materiales	18
2.3. Condiciones sobre configuración y principios éticos	19
CAPITULO III:	20
Procedimiento y Métodos	20
3.1. Construcción del calentador óhmico	21
3.2. Medición del campo magnético.....	21
3.3. Medición de las variables físico – químicas del jugo de naranja	22
CAPITULO IV:.....	23
Datos Obtenidos Y Análisis	23
4.1. Datos brutos.	23
4.2. Datos procesados.....	37

4.3. Gráficas	40
CONCLUSIONES	46
MEJORA DE LA INVESTIGACIÓN	48
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	50
ANEXOS	52
Anexo 1: Medición del campo magnético	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES, GRÁFICOS Y TABLAS

1. ILUSTRACIONES

1.1. Ilustración 1: Líneas del campo magnético alrededor de un imán

1.2. Ilustración 2: Diagrama del proceso del experimento

1.3. Ilustración 3: Esquema del circuito de calentamiento óhmico

2. GRÁFICOS

2.1. Gráfico 1: Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 125mT durante 40min

2.2. Gráfico 2: Conductividad eléctrica del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 143mT durante 40min

2.3. Gráfico 3: Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 190mT durante 40min

2.4. Gráfico 4: Conductividad eléctrica del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 260mT durante 40min

2.5. Gráfica 5: pH del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 125mT durante 40min

2.6. Gráfica 6: pH del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 143mT durante 40min

2.7. Gráfica 7: pH del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 190mT durante 40min

2.8. Gráfica 8: pH del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 260mT durante 40min

2.9. Gráfica 9: Temperatura del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 125mT durante 40min

2.10. Gráfica 10: Temperatura del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 143mT durante 40min

2.11. Gráfica 11: Temperatura del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 190mT durante 40min

2.12. Gráfica 12: Temperatura del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 260mT durante 40min

2.13. Gráfica 13: Conductividad eléctrica del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 3V por un tiempo 40min

2.14. Gráfica 14: Conductividad eléctrica del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 6V por un tiempo 40min

2.15. Gráfica 15: Conductividad eléctrica del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 9V por un tiempo 40min

2.16. Gráfica 16: Conductividad eléctrica del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 12V por un tiempo 40min

2.17. Gráfica 17: pH del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 3V por un tiempo 40min

2.18. Gráfica 18: pH del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 6V durante 40min

2.19. Gráfica 19: pH del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 9V durante 40min

2.20. Gráfica 20: pH del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 12V durante 40min

2.21. Gráfica 21: Temperatura del jugo de naranja puesto durante el calentamiento óhmico de 3V durante 40min

2.22. Gráfica 22: Temperatura del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 6V durante 40min

2.23. Gráfica 23: Temperatura del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 9V durante 40min

2.24. Gráfica 24: Temperatura del jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 12V durante 40min

2.25. Gráfica 25: Variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja vs Intensidad de campo magnético

2.26. Gráfica 26: Variación del pH del jugo de naranja vs Intensidad de campo magnético

2.27. Gráfica 27: Variación de la temperatura del jugo de naranja vs Intensidad de campo magnético

2.28. Gráfica 28: Variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja vs Voltaje

2.29. Gráfica 29: Variación del pH del jugo de naranja vs Voltaje

2.30. Gráfica 30: Variación de la temperatura del jugo de naranja vs Voltaje

3. TABLAS

3.1. Tabla 1: Conductividad eléctrica del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.

- 3.2. Tabla 2:** pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.3. Tabla 3:** Temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.4. Tabla 4:** Conductividad eléctrica del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico
- 3.5. Tabla 5:** pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico
- 3.6. Tabla 6:** Temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico
- 3.7. Tabla 7:** Variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.8. Tabla 8:** Variación del pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.9. Tabla 9:** Variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.10. Tabla 10:** Promedio de la variación de la conductividad eléctrica promedio del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.11. Tabla 11:** Promedio de la variación del pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.12. Tabla 12:** Promedio de la variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al campo magnético.
- 3.13. Tabla 13:** Variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

3.14. Tabla 14: Variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

3.15. Tabla 15: Variación del pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

3.16. Tabla 16: Variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

3.17. Tabla 17: Promedio de la variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

3.18. Tabla 18: Promedio de la variación del pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

3.19. Tabla 19: Promedio de la variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta al calentamiento óhmico

INTRODUCCIÓN

Esta monografía trata sobre los efectos de la aplicación de campos magnéticos y del calentamiento óhmico en las propiedades físico – químicas del jugo de naranja.

El Perú es un país que promueve el uso de nuevas tecnologías en la industria alimentaria, a fin de garantizar una producción y distribución acorde a los más altos estándares de calidad e higiene exigidos por los mercados internacionales. Gracias a ello el rendimiento de los cítricos peruanos, como la naranja, se ha impuesto por sobre los países del hemisferio sur. En este contexto, la efectiva conservación de los alimentos resulta relevante para su distribución y consumo. Así, en últimos años se han desarrollado distintos métodos de conservación que mantengan la calidad del alimento, minimizando el daño sobre su valor nutricional.

La pregunta de investigación del trabajo es ¿Cuál es el efecto de la aplicación de campos magnéticos y del calentamiento óhmico sobre la conductividad eléctrica, pH y temperatura del jugo de naranja?

Para resolver la pregunta de investigación se plantea medir los parámetros físicos de conductividad eléctrica, pH y temperatura de 4 muestras de 20ml de jugo de naranja tras ser calentado óhmicamente con diferentes voltajes y tras ser expuesto a diferentes intensidades de campo magnético. Ambos procesos por un periodo de 40 minutos.

El trabajo se ha dividido en cuatro capítulos. El primer capítulo desarrolla el marco teórico. El segundo capítulo explica a detalle el planteamiento del problema, materiales y experimentación. El tercer capítulo explica el procedimiento de la experimentación y el cuarto capítulo se muestran los datos obtenidos y el análisis.

La aplicación de la física tanto para el desarrollo como para la evaluación de los nuevos métodos es de vital importancia en la industria alimentaria para mejorar los procesos de conservación. De este modo, el aporte de investigaciones respecto al efecto de nuevos métodos sobre los alimentos resulta imprescindible para garantizar la calidad del alimento, tanto a corto como a largo plazo, y consecuentemente la salud del consumidor.

CAPITULO I:

Marco Teórico

1.1. Conservación de alimentos

En la industria alimentaria, la conservación de alimentos se refiere a aplicación de métodos que permitan prolongar su vida útil. Esta última es definida como “el periodo de tiempo durante el cual un producto puede ser almacenado antes de que un elemento en específico provoque que el producto no sea apto para su uso o consumo” (Theodore, 1982: p. 4). La mayoría de los esfuerzos por alargar la vida útil del alimento se han centrado en la inactivación de microorganismos; puesto que su alta presencia puede deteriorar la calidad del alimento y significar problemas de salud para su consumidor. (Camargo, M., Alves, C., 2014, p.2)

Actualmente, entre los diversos métodos de conservación de alimentos pueden identificarse los métodos térmicos y no térmicos. Métodos pertenecientes al primer grupo inactivan a los microorganismos patógenos y esporas a través del calor; tal como los procesos de pasteurización y esterilización.

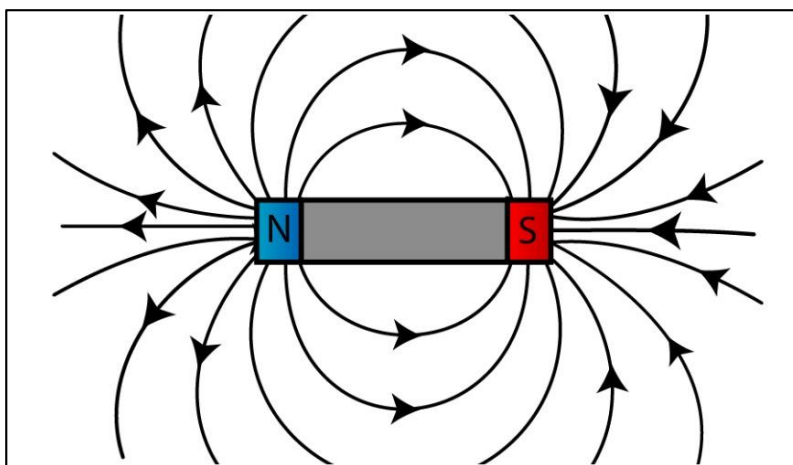
Por otro lado, los no térmicos, no hacen uso del calor. Este tipo de proceso surgió ante las limitaciones de los métodos térmicos para mantener la calidad final del producto, así como su aspecto físico, color, textura y sabor debido a su sensibilidad térmica (Barbosa, G., Bermúdez, D., 2001, p. 3). Algunas investigaciones han mostrado que los métodos no térmicos tienen un efecto insignificante en el valor nutricional del alimento. Entre ellas, se encuentra la de Garde – Cerdán, que no registró variaciones en el contenido de aminoácidos en un jugo de uva tratado con pulsos de alta intensidad de campo eléctrico. Las tecnologías más estudiadas y empleadas en este tipo de proceso han sido la alta presión hidrostática (HHP), los ya

mencionados pulsos de alta intensidad de campo eléctrico PEF, pulsos de alta intensidad de campo magnético (OMF), pulsos de luz, irradiación y bacteriocitas (Barbosa, G., Bermúdez, D., 2001, p. 3).

1.2. Campos magnéticos

Un campo magnético es creado a partir de una corriente eléctrica o de materiales magnéticos como los imanes. Un imán cuenta con dos polos: norte y sur. Los dos polos iguales se atraen mientras los distintos se repelen. Las líneas del campo magnético generado por un imán siempre salen de su polo norte hacia su polo sur. Estas líneas pueden observarse en la figura 1.

Ilustración 1. Líneas del campo magnético alrededor de un imán



JustScience. (2017). Magnetic Field and Magnetic Field Lines. [Figura]

Recuperado de: <http://www.justscience.in/articles/magnetic-field-and-magnetic-field-lines/2017/06/30>

La unidad del campo magnético es el Tesla (T).

1.2.1. Cálculo del campo magnético terrestre

“The World Magnetic Model” (WMM), desarrollado por “The National Geophysical Data Center” (NGDC), es el modelo estándar utilizado por “The National Oceanic

and Atmospheric Administration” para representar el campo magnético de la Tierra. A partir de las coordenadas geográficas y la distancia sobre el nivel del mar de un punto dado, se puede calcular el campo magnético de la Tierra. El sitio <https://www.ngdc.noaa.gov> proporciona una calculadora de campo magnético usando el WMM.

1.2.1. Método trigonométrico para hallar el campo magnético generado por un objeto magnético

El principio de superposición de campos magnéticos establece que el campo magnético resultante en un punto dado es igual a la suma de los campos magnéticos individuales. Esto puede expresarse matemáticamente bajo la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1

En un lugar abierto, una brújula está sometida al campo magnético terrestre; por lo cual, la aguja magnetizada señalará propiamente el norte y sur magnético de la tierra. Sin embargo, al colocarse un objeto magnético cerca de la brújula, la aguja se desviará con un ángulo θ , cuyo módulo y dirección dependerán de la intensidad del campo magnético producido por el cuerpo y la distancia entre este y la brújula. El campo magnético resultante al cual estaría expuesto esta brújula, de acuerdo con el principio de superposición de la ecuación 1, sería:

$$\bar{B}_{neto} = \bar{B}_{Tierra} + \bar{B}_{objeto}$$

Ecuación 2

Si el campo magnético producido por este objeto magnético es perpendicular al campo magnético terrestre, de acuerdo con Lunk, B y Beichner, R. (2011, p.1) la magnitud de ambos campos sigue una relación trigonométrica:

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

Ecuación 3

Donde θ es el ángulo de inclinación de la aguja de la brújula.

1.2.2. Variación del campo magnético generado por un imán y la distancia desde su centro.

La intensidad de campo magnético generado por un imán en un punto y la distancia r desde su centro están relacionadas por la siguiente ecuación:

$$B_{\text{imán}} = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi r^3}$$

Ecuación 4

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

1.2.3. Uso de campos magnéticos en la conservación de alimentos

El uso de campos magnéticos para la conservación de alimentos es uno de los métodos no térmicos propuestos como una tecnología emergente (Calderón, M., 1998, p. 8). Los efectos del campo magnético sobre los microorganismos pueden ser beneficiosos o dañinos. (Anaya, M., 2015, p. 2). Tanto los campos magnéticos estáticos como los oscilatorios se emplean para la inhibición o estimulación de microorganismos. De acuerdo con María Calderón, los resultados obtenidos de la aplicación de campos magnéticos sobre microorganismos son contradictorios (1998, p.8).

1.3. Calentamiento óhmico

Para calentar el alimento se han aplicado diferentes métodos como el calentamiento convencional y el del microondas. Sin embargo, recientemente se ha implementado el uso del calentamiento óhmico en la conservación de alimentos.

El método de calentamiento óhmico consiste en el paso de corriente a través de un alimento con el fin de elevar su temperatura. Los principios del calentamiento óhmico se basan en los aportes del físico británico James Prescott Joule, razón por la cual también se le denomina calentamiento Joule. En 1841, Joule descubrió que el calor Q generado al pasar una corriente eléctrica era proporcional al cuadrado de la corriente y a la resistencia eléctrica del material por el cual fluía la corriente (Díaz Cruz, p. 13)

$$Q = I^2 R$$

Ecuación 5

Esto quiere decir que el calentador óhmico utiliza la propia resistencia eléctrica del alimento para generar calor. De acuerdo con Villamiel, M. para lograr una mayor efectividad en el calentamiento, los valores de conductividad del alimento a 20°C se encuentran en el intervalo de 0.01 – 10 Sm^{-1} (2006, p. 3). La conductividad eléctrica del jugo de naranja se encuentra en un valor de 0.4 10 Sm^{-1}

1.4. Conductividad eléctrica

El requisito principal para que el calentamiento óhmico funcione es que el alimento presente cierto nivel de conductividad eléctrica. Esta última está relacionada a la “cantidad de sales disueltas presentes en el líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo” (infoAgro.com, p. 1). Las sales en solución al ser expuestas a campos eléctricos son capaces de transferir energía eléctrica

debido a la presencia de iones negativos y positivos generados por su disociación. Así, cuanto mayor sea las sales disueltas mayor será la conductividad. La conductividad eléctrica se mide en $S m^{-1}$ (Siemens por metro).

1.5. pH

El pH de un alimento es una característica física que mide su nivel de acidez o alcalinidad (Chavarrias, M., 2013, p.1). El rango de pH de los alimentos es de 0 a 14. Un pH de 7 se considera de acidez neutral. Si es mayor a 7 se dice que el alimento es alcalino, y si es menor a 7 se dice que ácido.

La mayoría de microorganismos se desarrollan en un rango de pH de 5 a 8 (Cocina solar, 2018, p. 3). De este modo la acidez de un alimento es un aspecto importante en su conservación dado que conforme disminuye su pH los microorganismos tienen menores probabilidades de sobrevivir, es decir que su disminución inhibe el crecimiento microbiano.

CAPITULO II:

Planteamiento Del Problema y de la Experimentación

Pregunta de Investigación: ¿Cuál es el efecto de la aplicación de campos magnéticos y del calentamiento óhmico sobre la conductividad eléctrica, pH y temperatura del jugo de naranja?

Hipótesis:

La hipótesis es que el calentamiento óhmico aumentará la temperatura del jugo naranja, aumentará su conductividad y disminuirá su nivel de pH. En el caso del campo magnético se espera que tenga un efecto mínimo en la temperatura del jugo de naranja, aumente su conductividad y disminuya su pH. Asimismo, se espera que las variaciones que logre el calentamiento óhmico en la temperatura, pH y conductividad eléctrica del jugo de naranja sean mayores que las de los campos magnéticos.

2.1. Variables

Variable independiente:

Para el calentamiento óhmico:

- Voltaje del circuito
- Tiempo de exposición al calentamiento óhmico

Para el campo magnético:

- Intensidad de campo magnético
- Tiempo de exposición al campo magnético

Variable dependiente:

- Propiedades físicas del jugo de naranja: pH, Densidad, temperatura. y conductividad eléctrica.

Variable controlada:

- La temperatura ambiente. Se realizó el experimento en un lugar cerrado.
- En ambos procesos se mantendrá la misma cantidad de jugo de naranja y leche. Cada muestra tendrá 20 ml de la sustancia.
- El campo magnético de otros objetos magnéticos. Se mantuvo alejado las muestras de jugo de naranja de objetos magnéticos.
- Campo magnético de la Tierra. Se realizaron los experimentos en un solo lugar.
- Electrodo: los electros utilizados en cada prueba fueron del mismo tipo.

2.2. Materiales

- 2 electrodos
- 2 porta electrodos Major SKU 139150-X
- Fuente de poder
- Recipiente redondo de plástico cerrado
- Imanes de Neodimo
- 2 Multímetros
- 4 cables con conector y pinzas en los extremos.
- 2 litros de jugo de naranja (natural)
- 50 recipientes de muestras
- 5 vasos de precipitados
- Huincha de acero Stanley
- Sensores:
 - Stainless Steel Temperature Probe TMP - BTA Vernier

- pH Sensor Vernier PH – BTA
- Electrical Conductivity Sensor

2.3. Condiciones sobre configuración y principios éticos

Al trabajar con la fuente de poder se aseguro que la superficie de la mesa esté seca y lejos de objetos conductores de electricidad que no sean parte del experimento.

Asimismo, durante el experimento se aseguraron los sensores con pinzas del laboratorio para que se mantengan en posición vertical durante la toma de datos y de esta manera mantener el vaso de precipitados con el jugo de naranja y evitar cualquier riego.

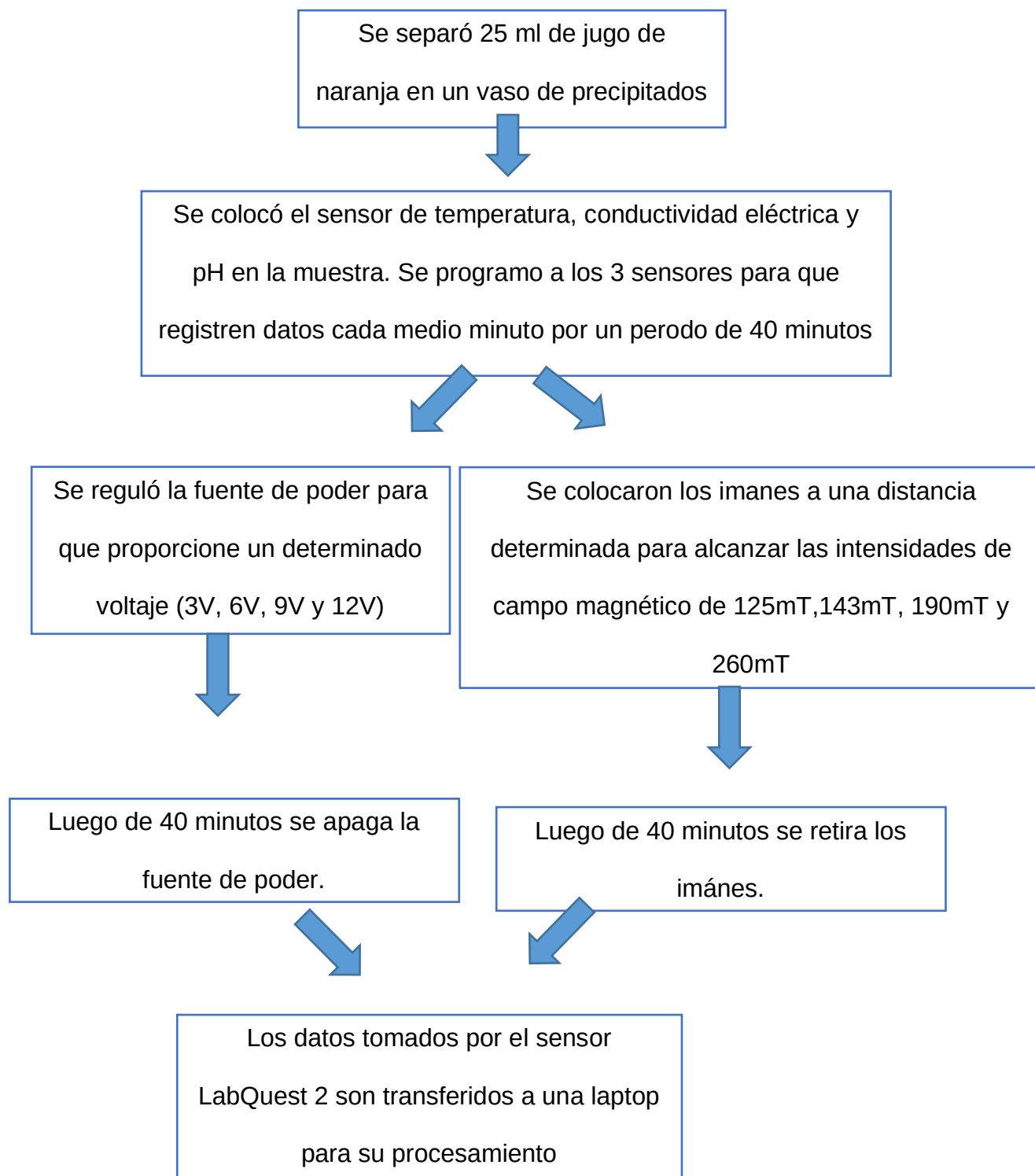
Se aseguró también que los cables se encuentren en buen estado. Antes de utilizarlos se probó cada cable con el uso del multímetro.

En relación al uso de imanes, se aseguró que no se encontraran cerca de cualquier aparato electrónico.

CAPITULO III:

Procedimiento y Métodos

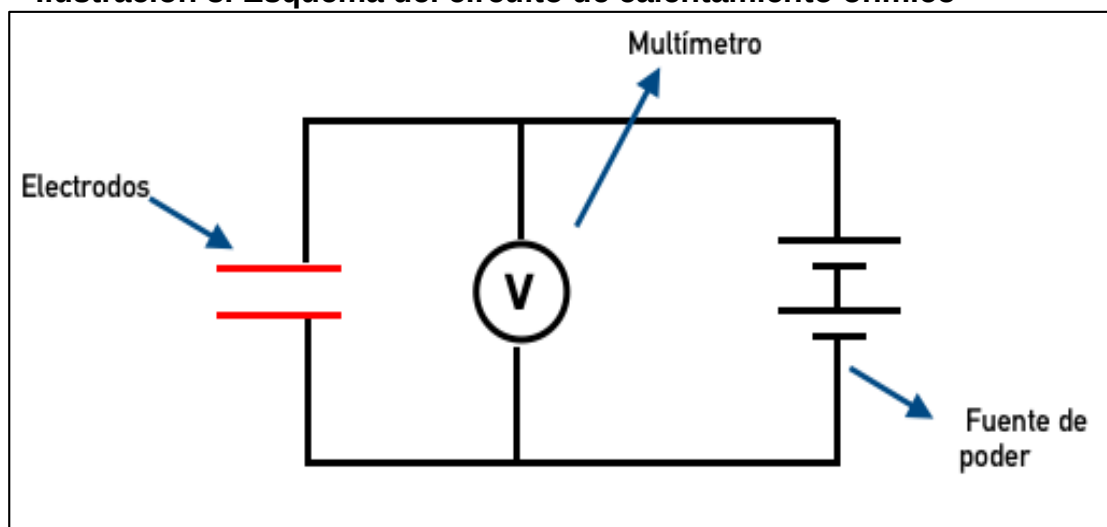
Ilustración 2 . Diagrama del proceso del experimento



3.1. Construcción del calentador óhmico

Para realizar un calentador óhmico lo que se necesita básicamente es una fuente de poder, electrodos y un recipiente de material no conductor de electricidad en donde colocar el alimento.

Ilustración 3. Esquema del circuito de calentamiento óhmico



Para conectar los electrodos con la fuente de poder se utilizó un porta electrodos, los cuales estaban conectados al generador por medio de un cable.

Para poder medir la corriente y el voltaje del circuito, se utilizaron dos multímetros. Uno fue colocada en serie para poder medir la intensidad de corriente, y el otro se colocó en paralelo para medir la diferencia de potencial.

Con la fuente de poder se pudo cambiar el voltaje a 3V, 6V, 9V y 12V.

3.2. Medición del campo magnético

A partir de la ecuación 4, siendo $\frac{\mu_0 \mu}{2\pi} = \text{constante} = k$, se puede establecer que la relación entre el campo magnético generado por un imán en un punto dado y la distancia r del punto con respecto al centro del imán está dado por:

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

Ecuación 6

Con el uso de la ecuación 3 (método trigonométrico) es posible hallar la constante k de la ecuación 6.

Lo primero que se hizo fue alinear la brújula con el campo magnético de la tierra. Luego de ello, se colocaron los imanes perpendicularmente a las agujas de la brújula a diferentes distancias. El ángulo de desviación de la aguja se anotó con su respectiva distancia. Una vez hallado el campo magnético de la tierra en el sitio web del Centro Nacional de Datos Geofísicos, se pudo hallar la intensidad de campo magnético en dicho punto. Los datos obtenidos de la intensidad de campo magnético para una distancia r desde el centro de la brújula fueron graficados. Se halló la línea de mejor ajuste con el uso de Microsoft Excel y se halló el valor de la constante k . Una vez obtenida esta constante se pudieron determinar las distancias requeridas para obtener una intensidad de campo magnético de 125mT, 143mT, 190mT y 260mT. Estos resultados pueden verse en el anexo 2.

3.3. Medición de las variables físico – químicas del jugo de naranja

Se colocó el sensor de conductividad eléctrica de Vernier en una muestra de 20ml de jugo de naranja para medir su conductividad. Se programó el sensor para que registrara datos cada medio minuto por un periodo de 40 minutos. Al llegar a los 40 minutos se retiró la muestra. Este proceso se repitió cuatro veces por cada voltaje aplicado (en el caso del calentamiento óhmico) e intensidad de campo magnético. Lo mismo se realizó con el uso de los sensores de temperatura y pH de Vernier. Una vez registrados los datos en el sensor, estos fueron transferidos a una laptop a través de la aplicación LoggerLite para después ser graficados en la aplicación Vernier Graphical analysis para una mejor presentación.

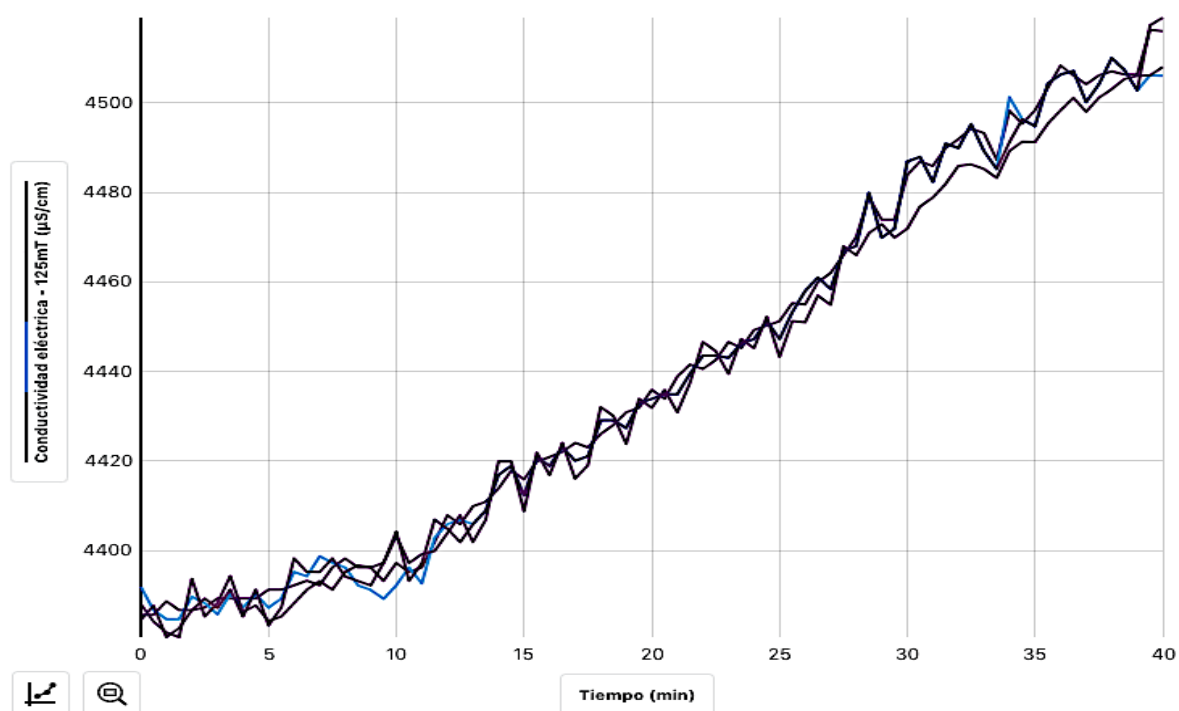
CAPITULO IV:

Datos Obtenidos Y Análisis

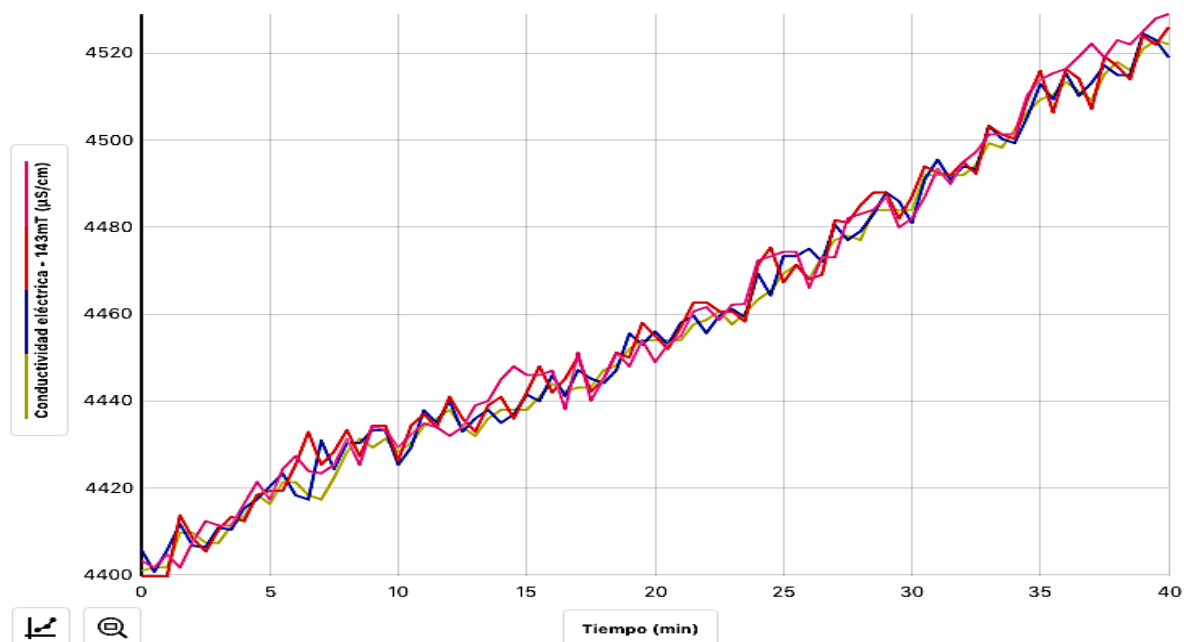
4.1. Datos brutos.

Las gráficas del 1 – 24, muestran las variaciones de la conductividad eléctrica, pH y temperatura del jugo de naranja durante los 40 minutos de exposición a diferentes intensidades de campo magnético y diferentes voltajes de calentamiento óhmico.

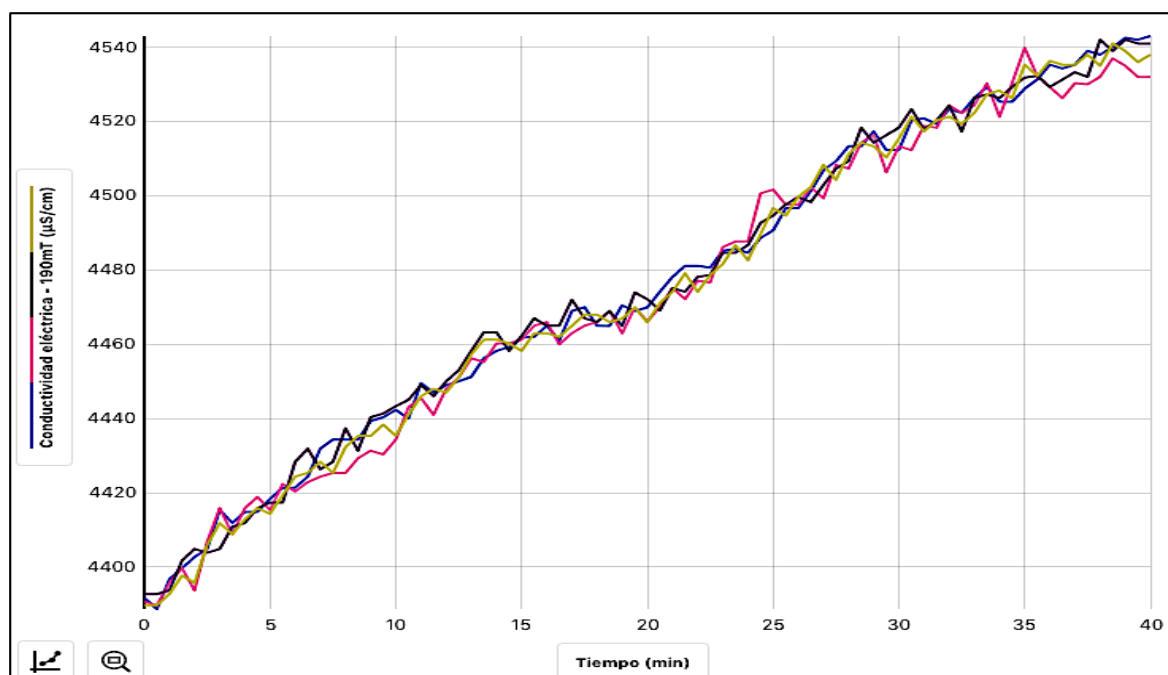
Gráfica 1. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 125mT durante 40min



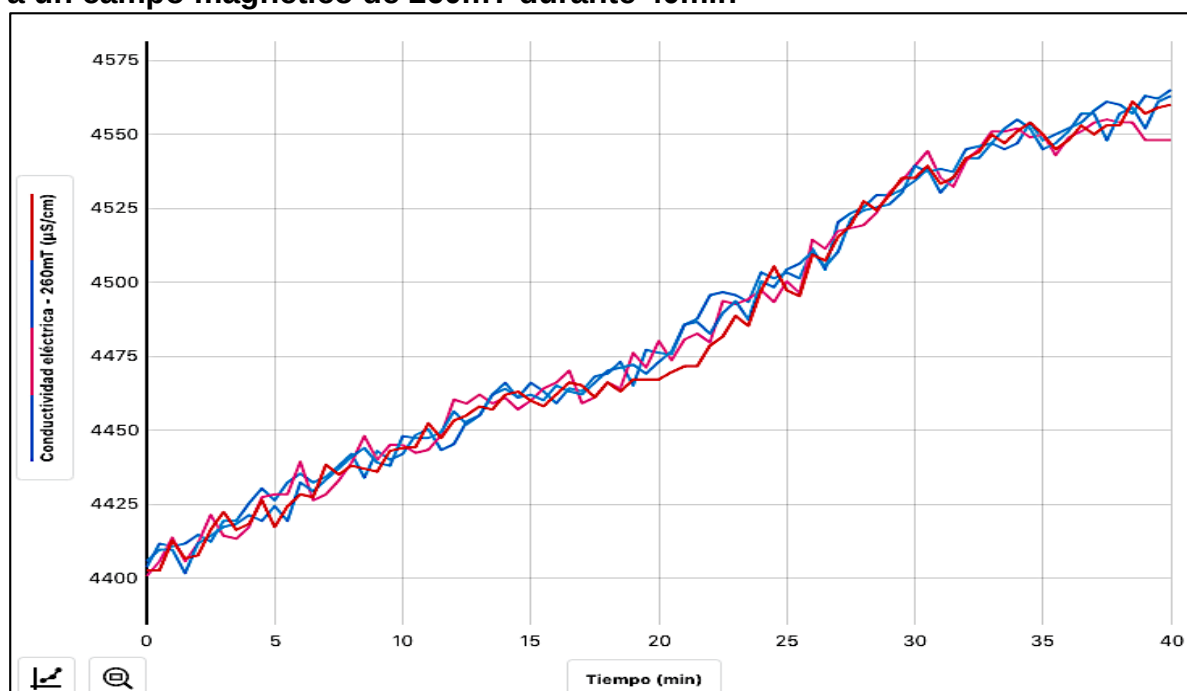
Gráfica 2. Conductividad eléctrica del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 143mT durante 40min



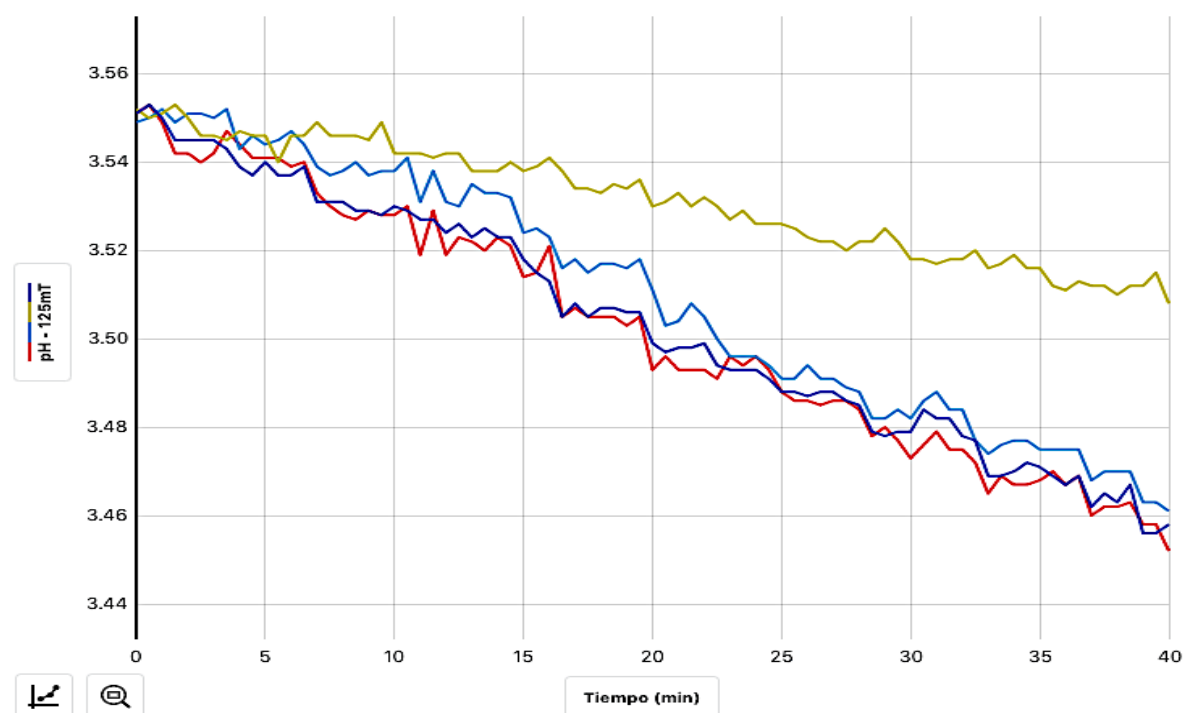
Gráfica 3. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 190mT durante 40min



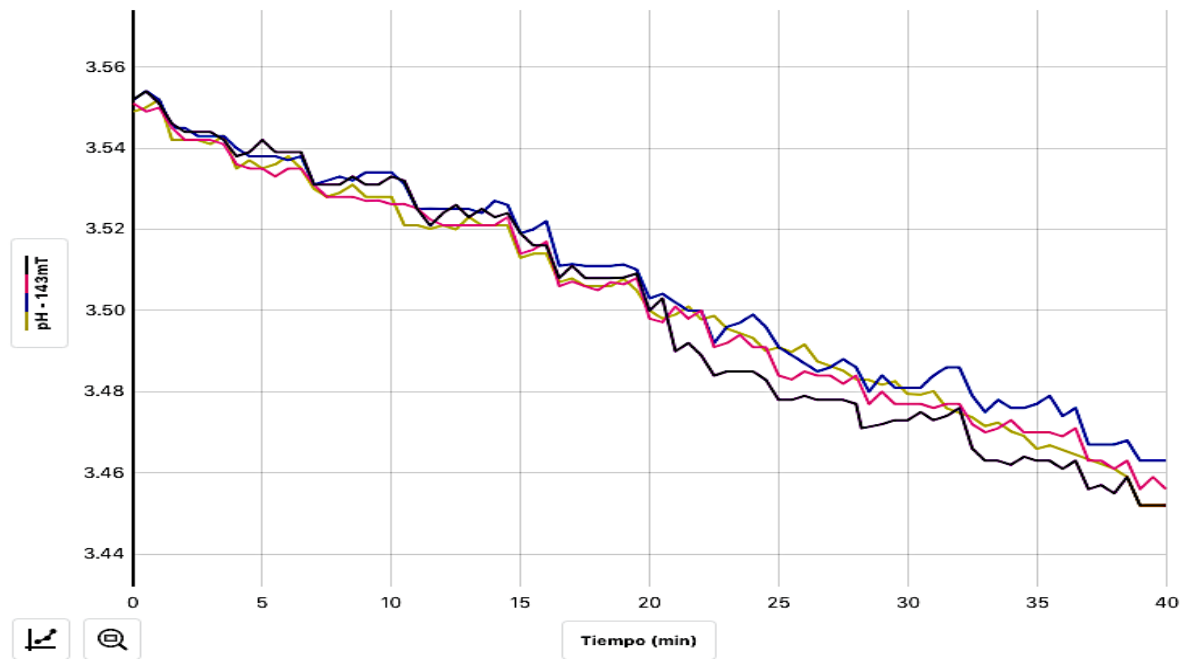
Gráfica 4. Conductividad eléctrica de 4 muestras del jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 260mT durante 40min



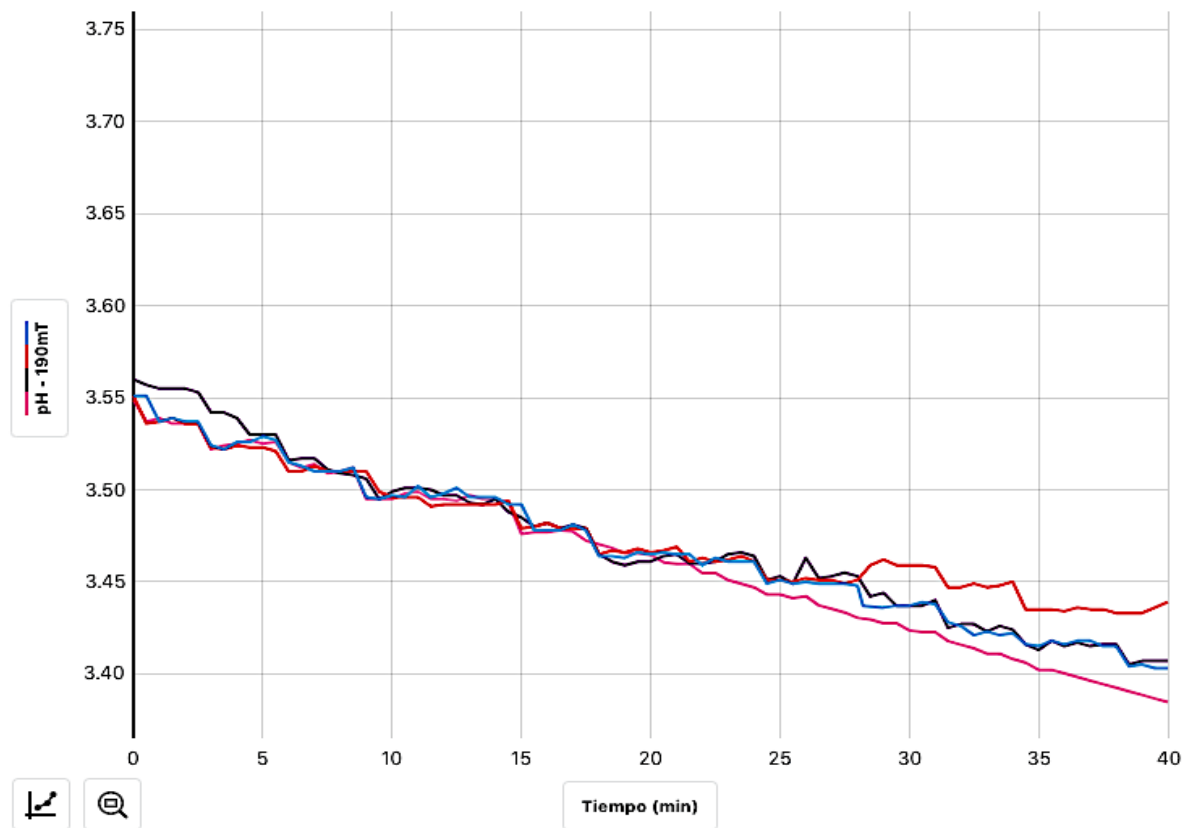
Gráfica 5. pH de 4 muestras jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 125mT durante 40min



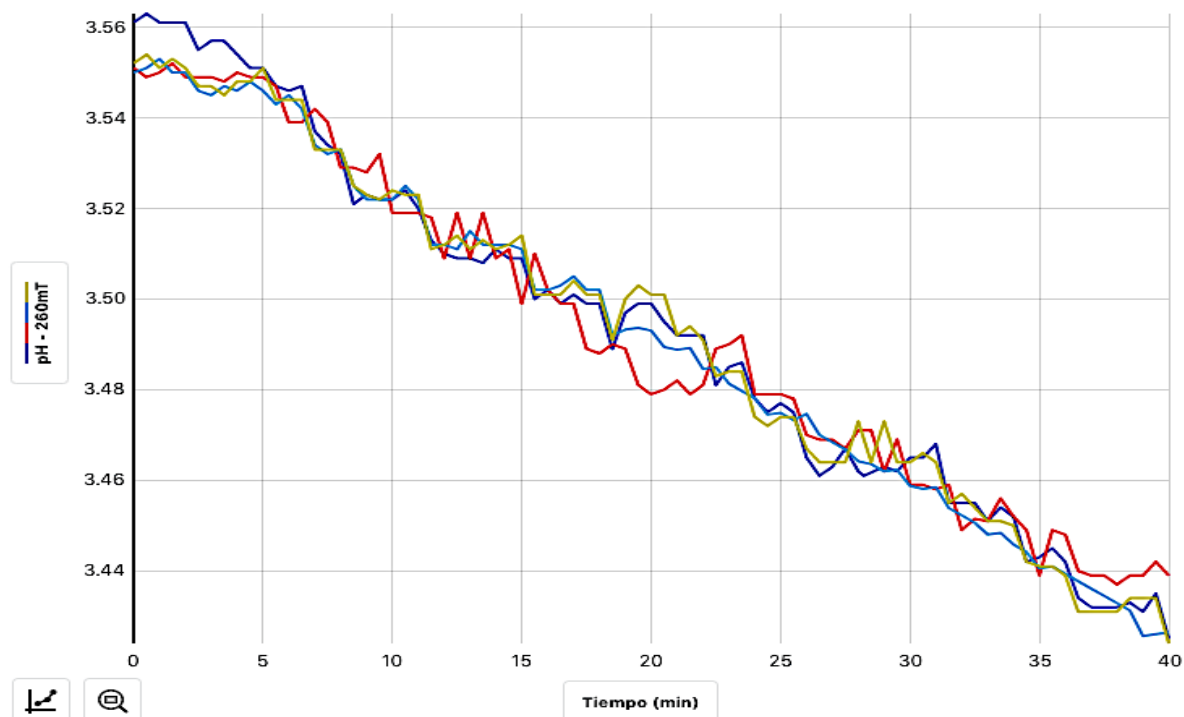
Gráfica 6. pH de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 143mT durante 40min



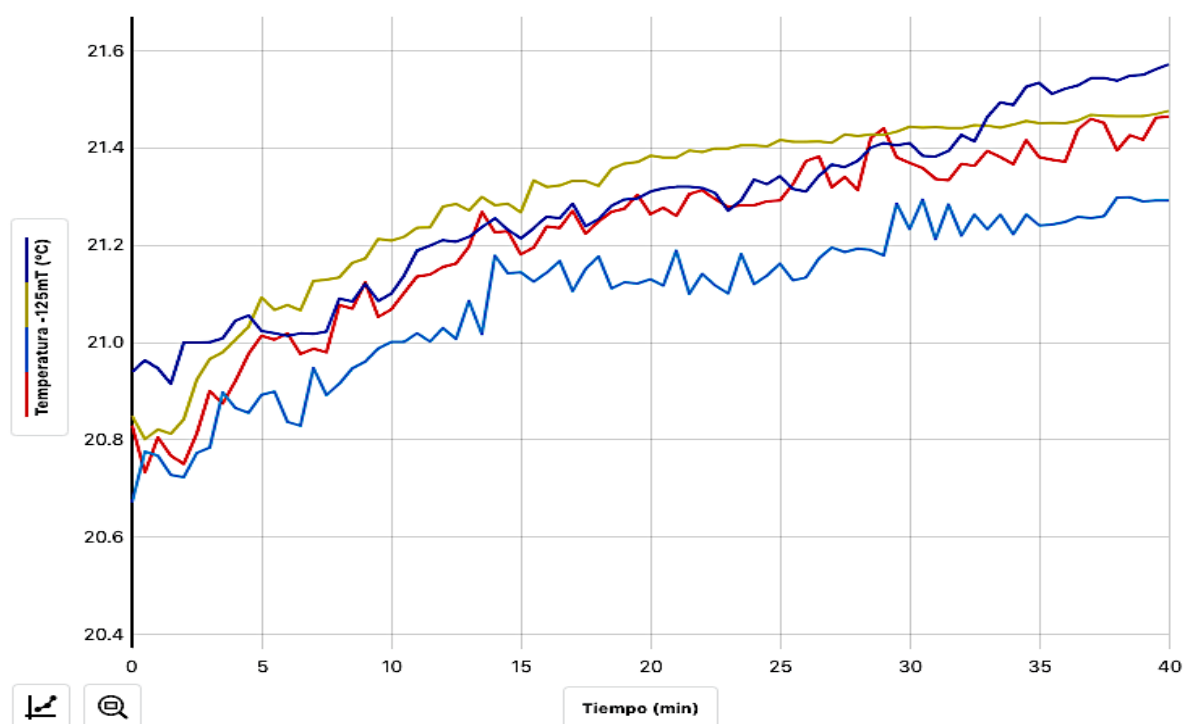
Gráfica 7. pH de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 190mT durante 40min



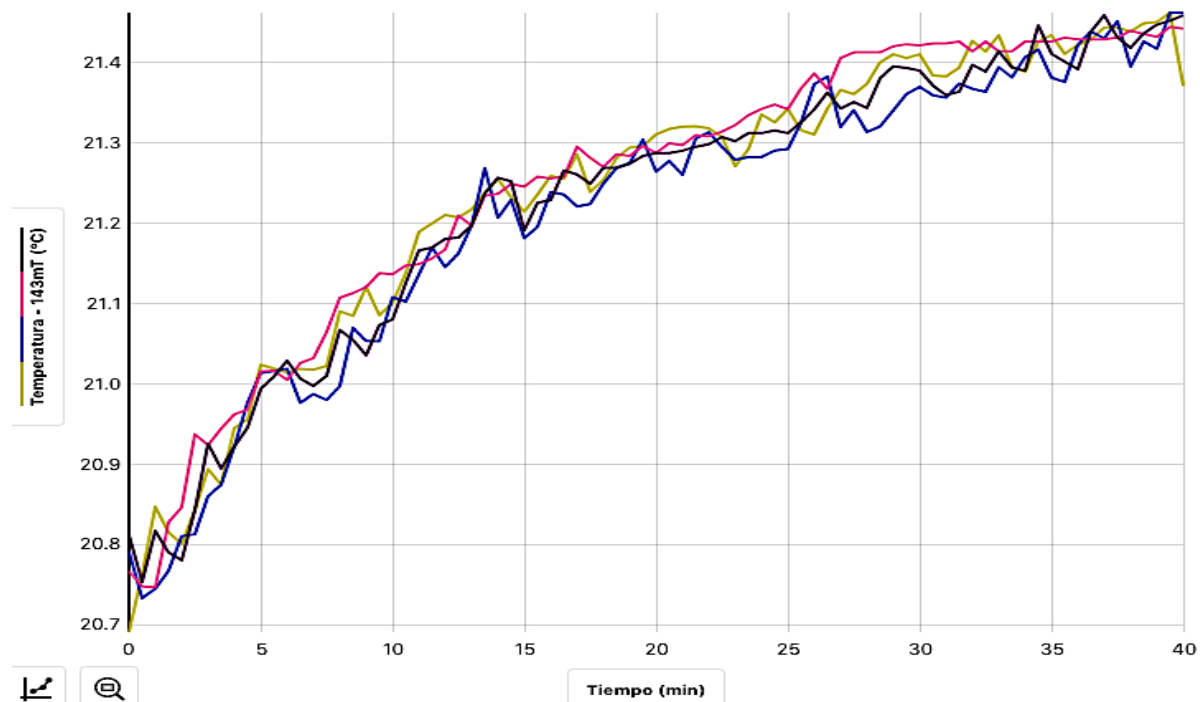
Gráfica 8. pH de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 260mT durante 40min



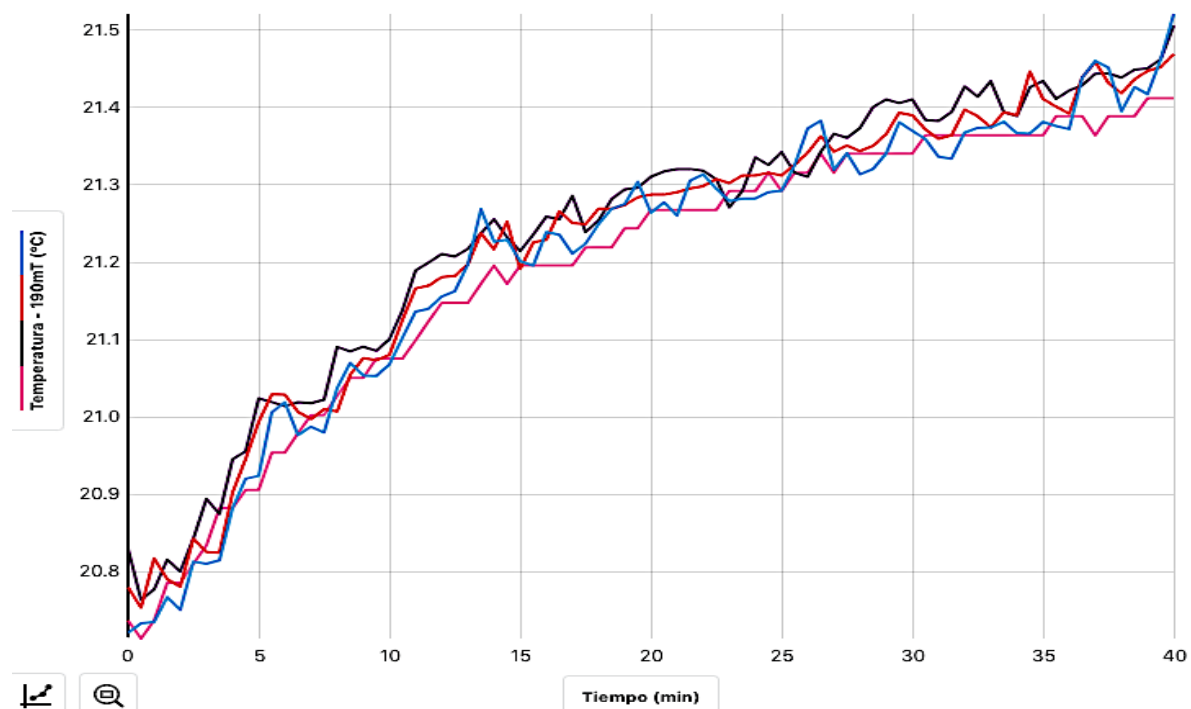
Gráfica 9. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 125mT durante 40min



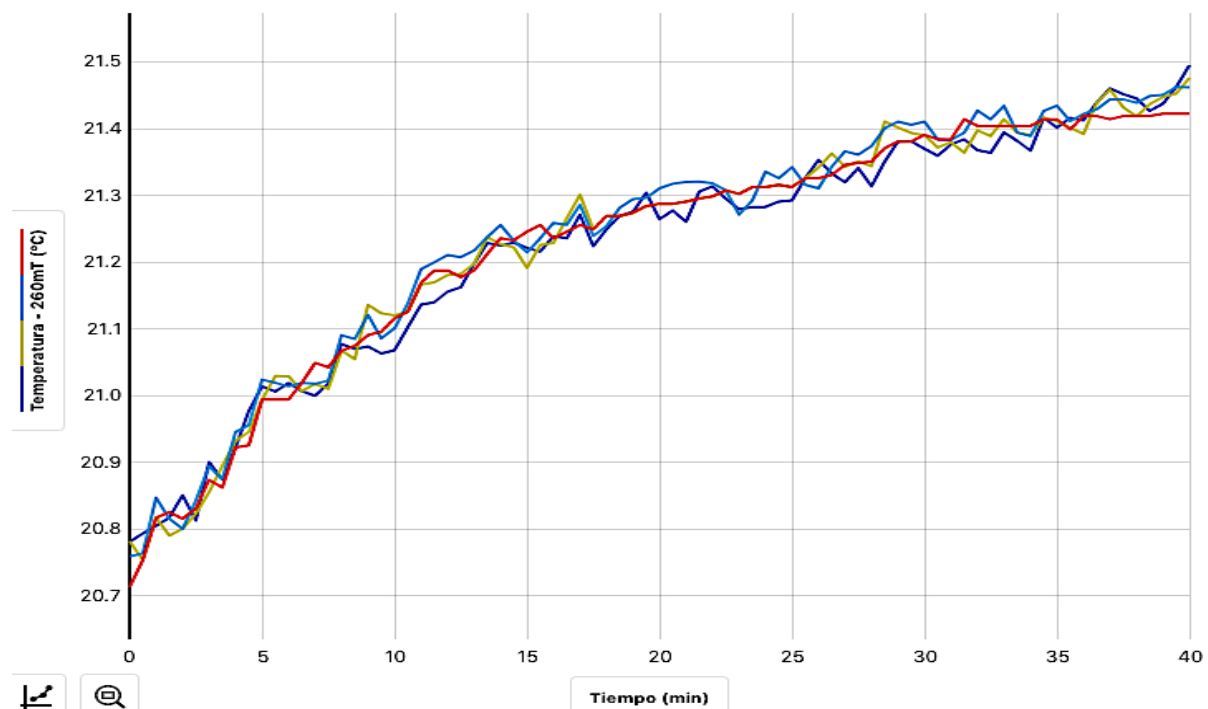
Gráfica 10. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 143mT durante 40min



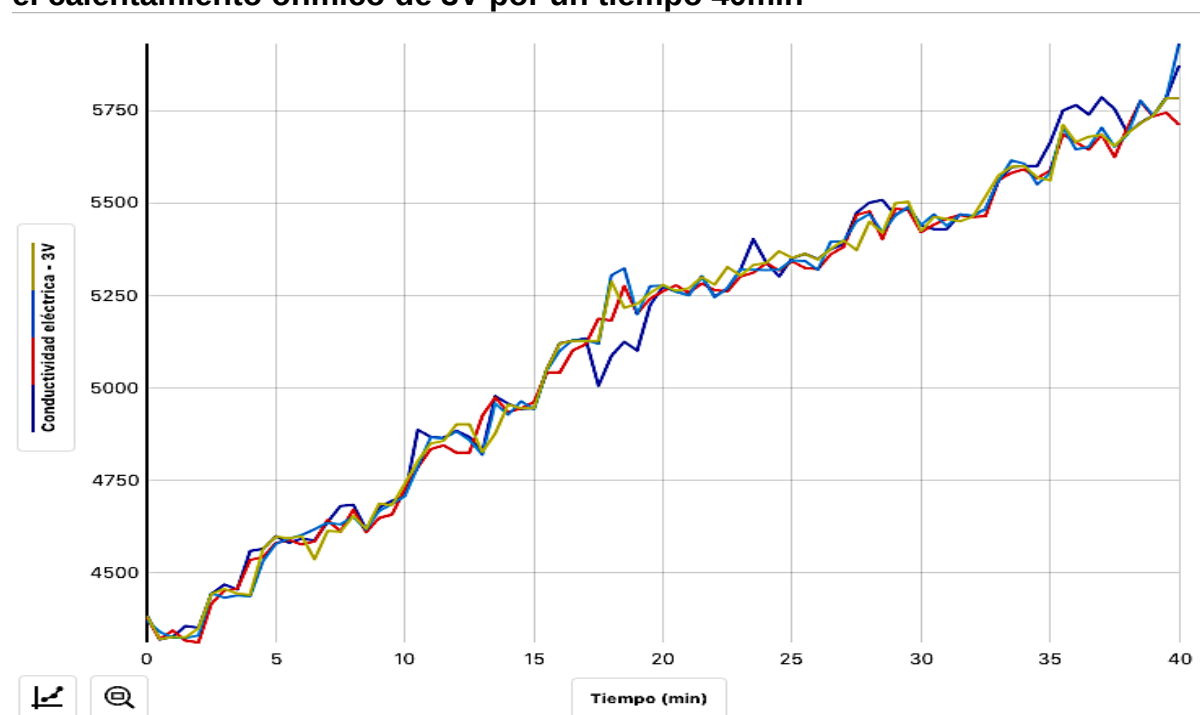
Gráfica 11. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 190mT durante 40min



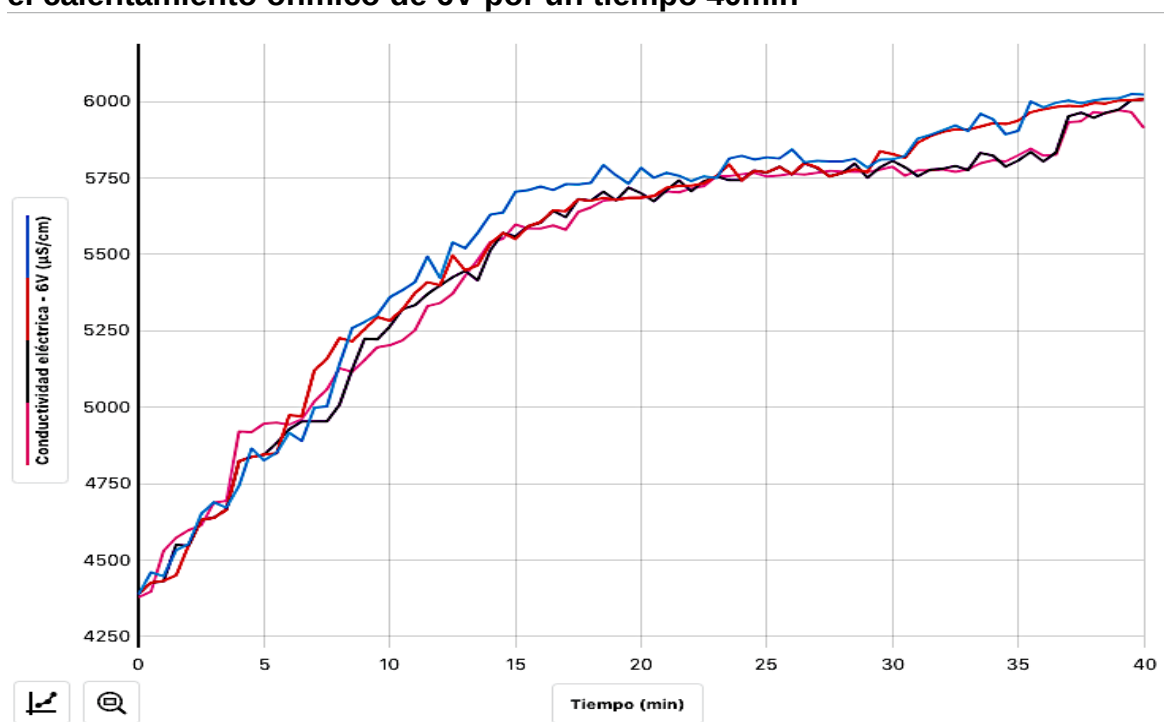
Gráfica 12. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 260mT durante 40min



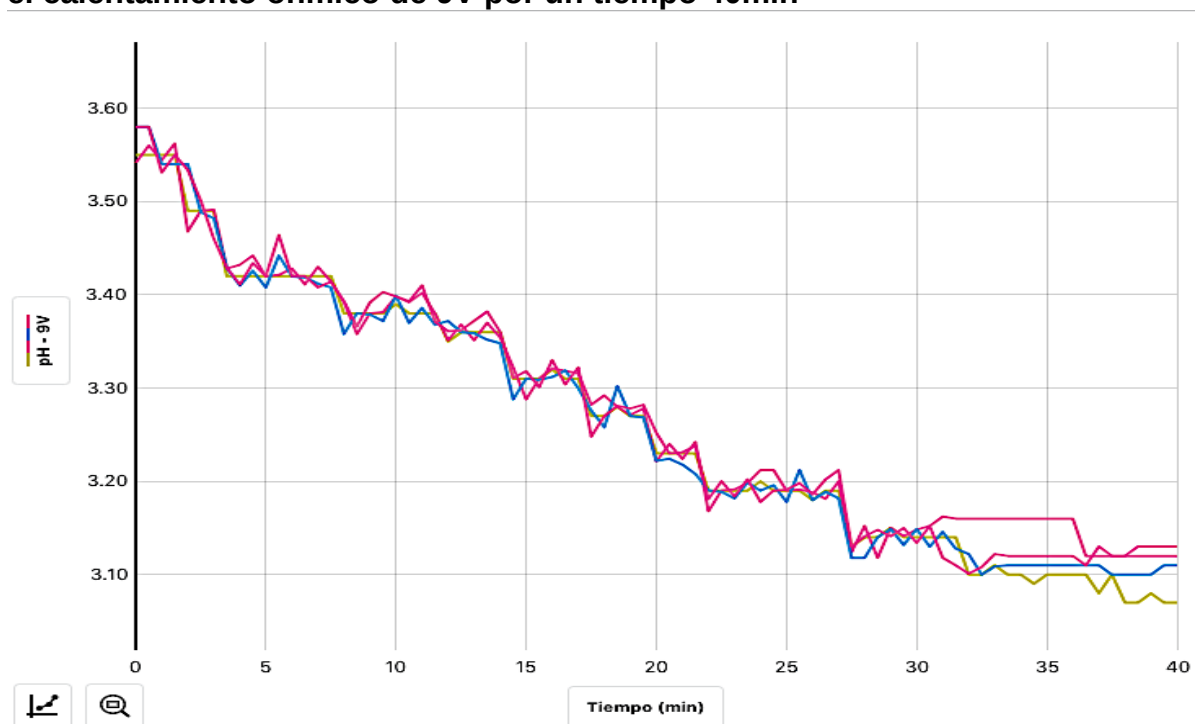
Gráfica 13. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 3V por un tiempo 40min



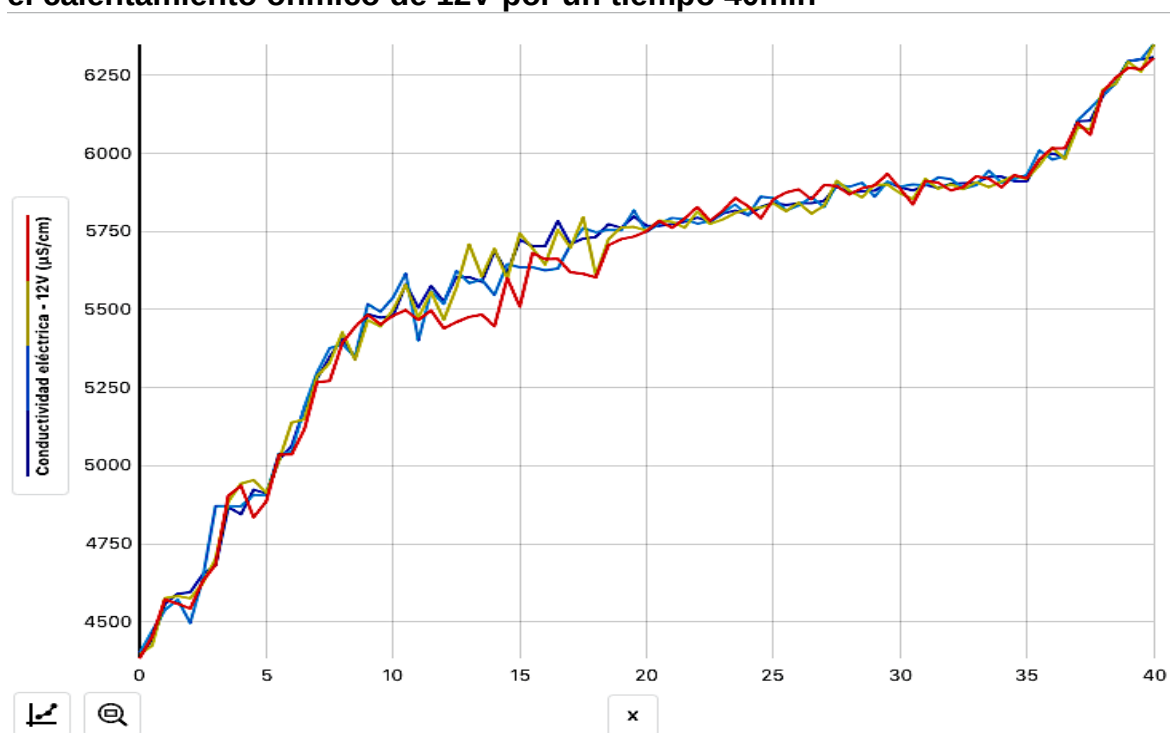
Gráfica 14. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 6V por un tiempo 40min



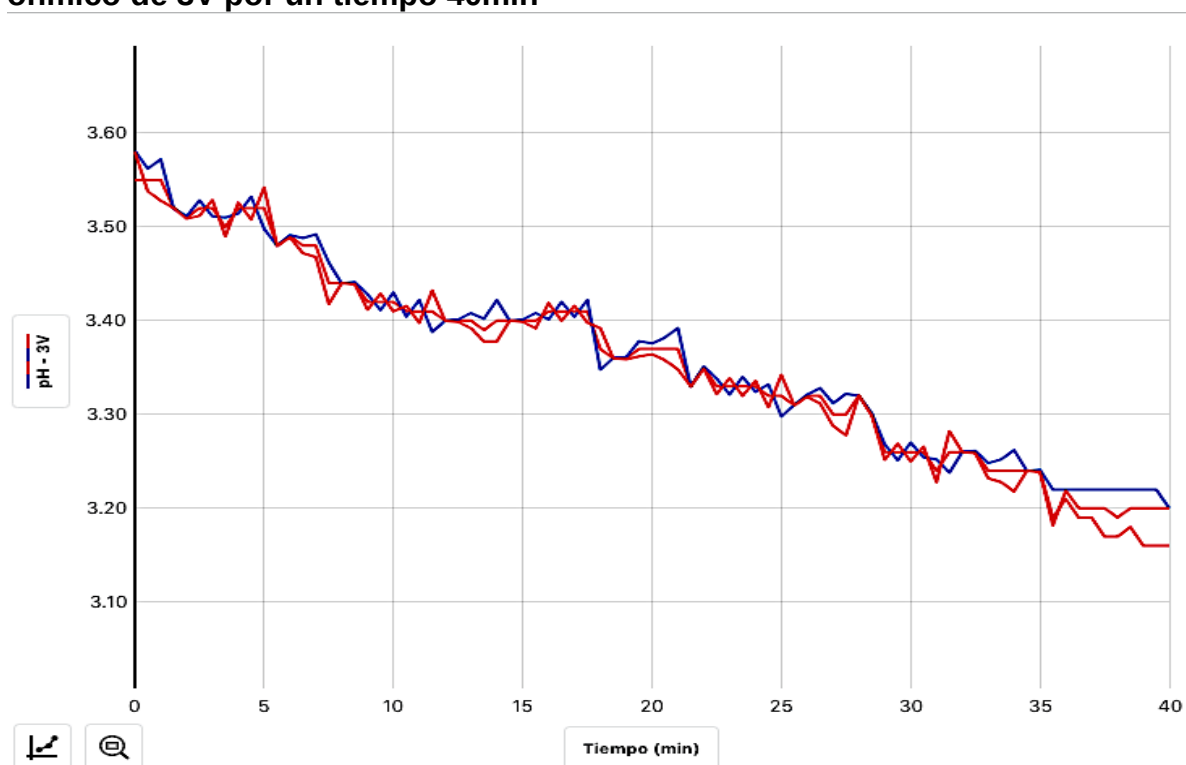
Gráfica 15. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 9V por un tiempo 40min



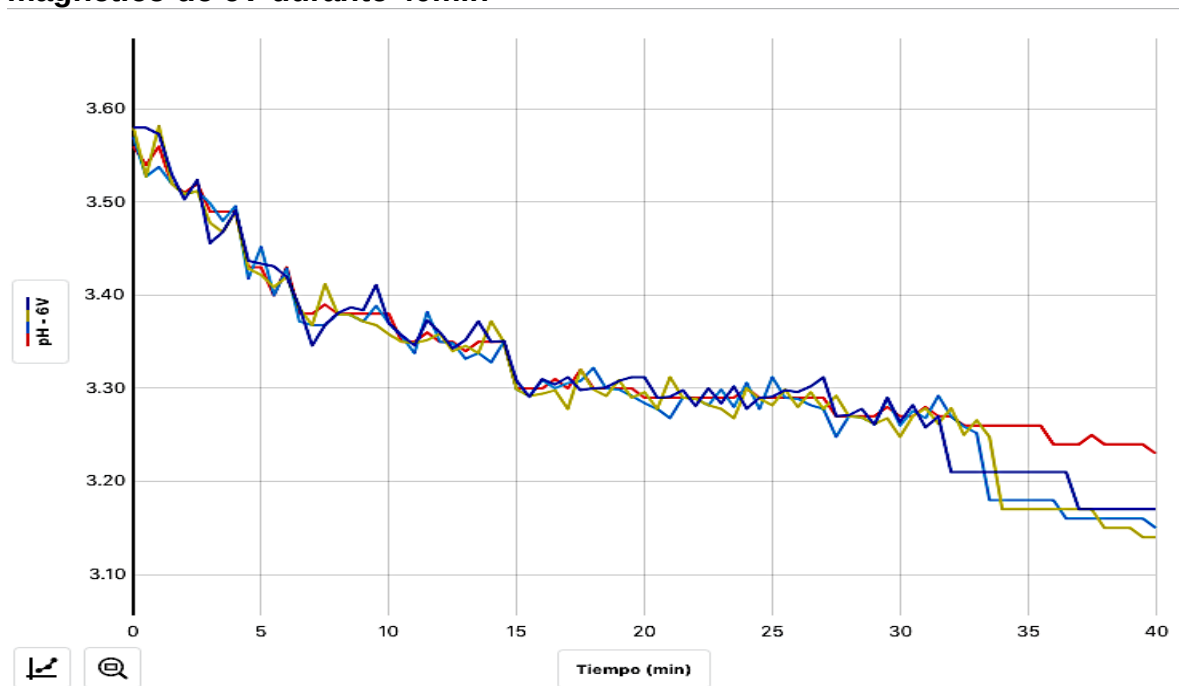
Gráfica 16. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 12V por un tiempo 40min



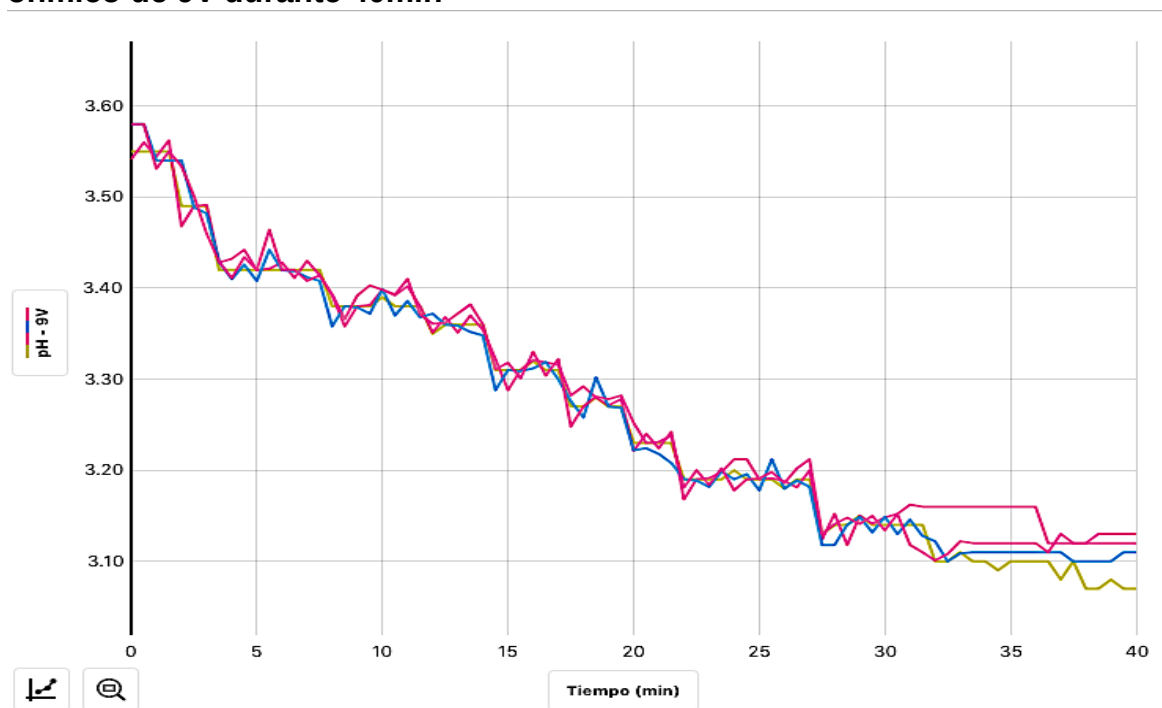
Gráfica 17. pH de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 3V por un tiempo 40min



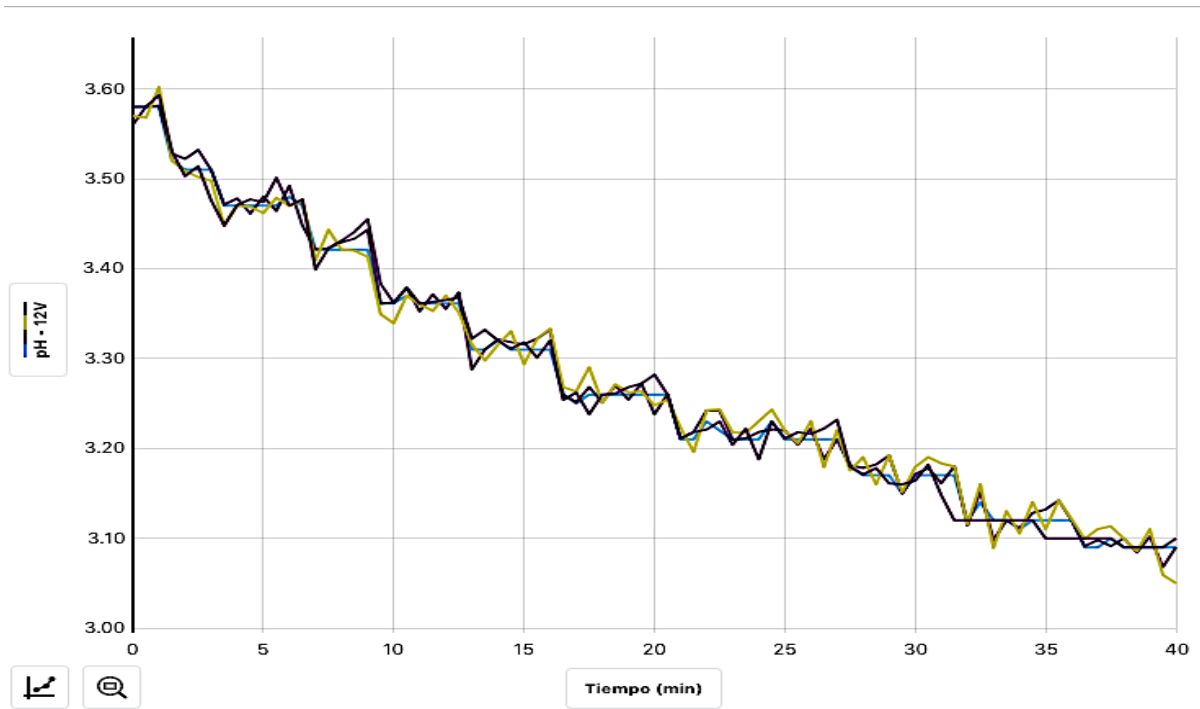
Gráfica 18. pH de 4 muestras de jugo de naranja expuesto a un campo magnético de 6V durante 40min



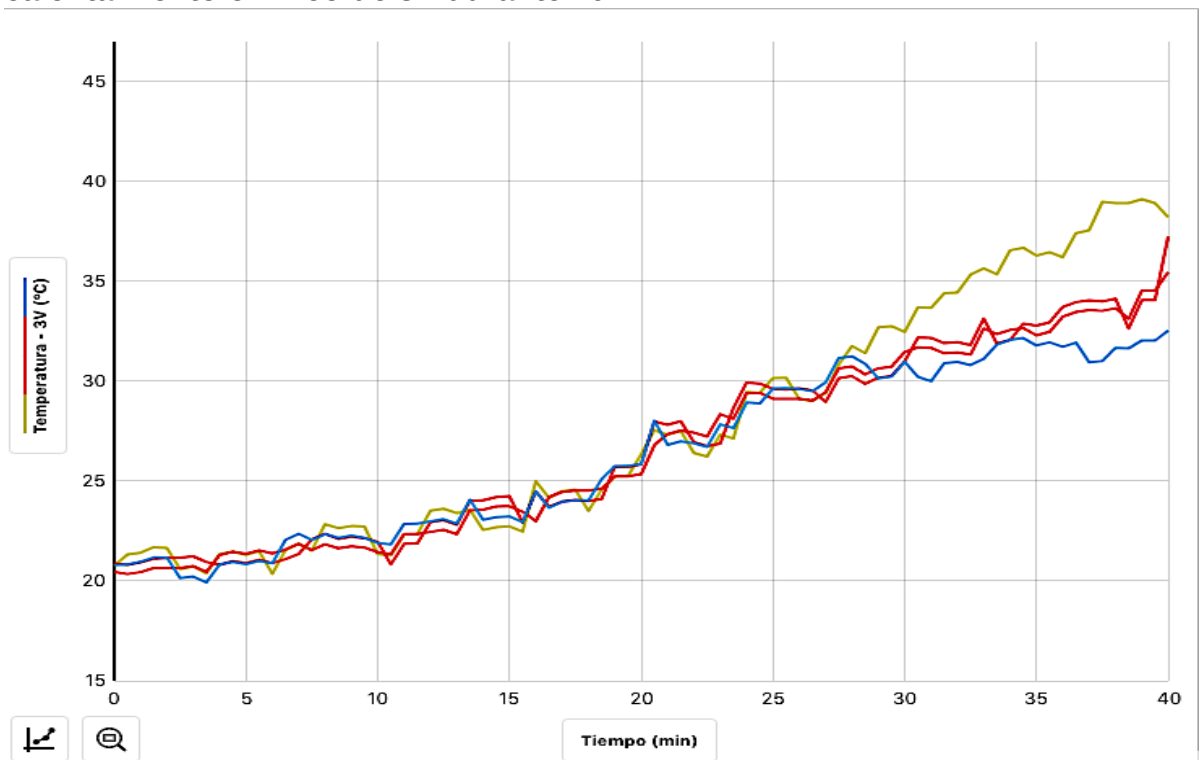
Gráfica 19. pH de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 9V durante 40min



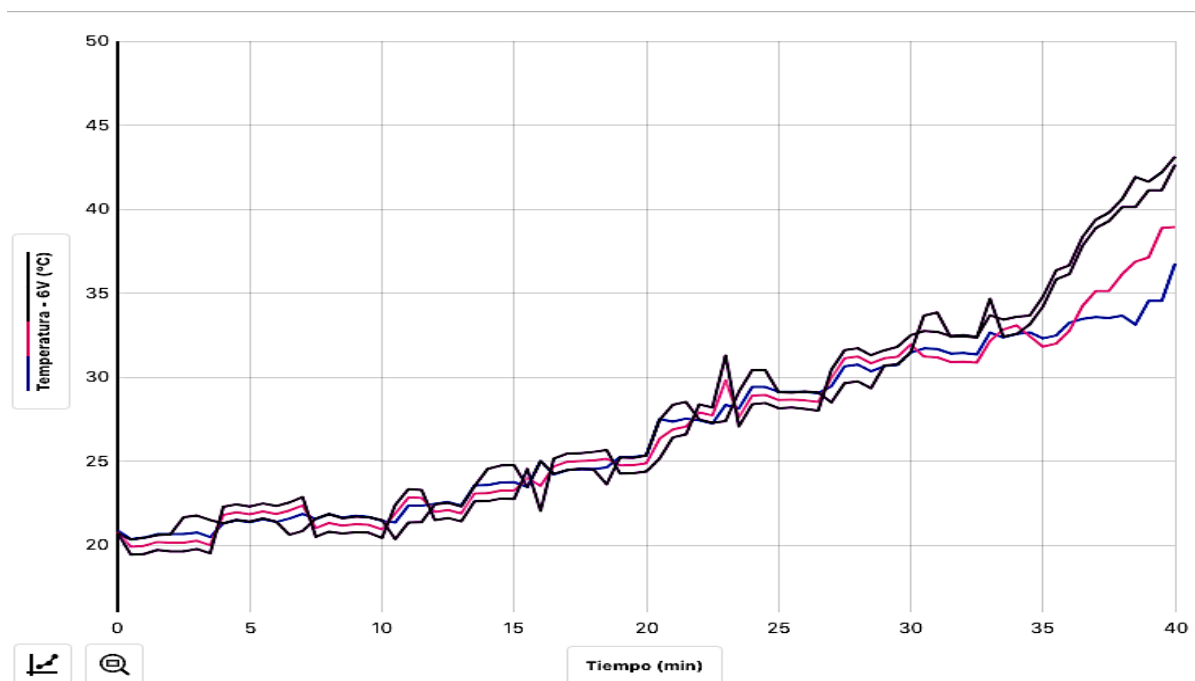
Gráfica 20. pH de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 12V durante 40min



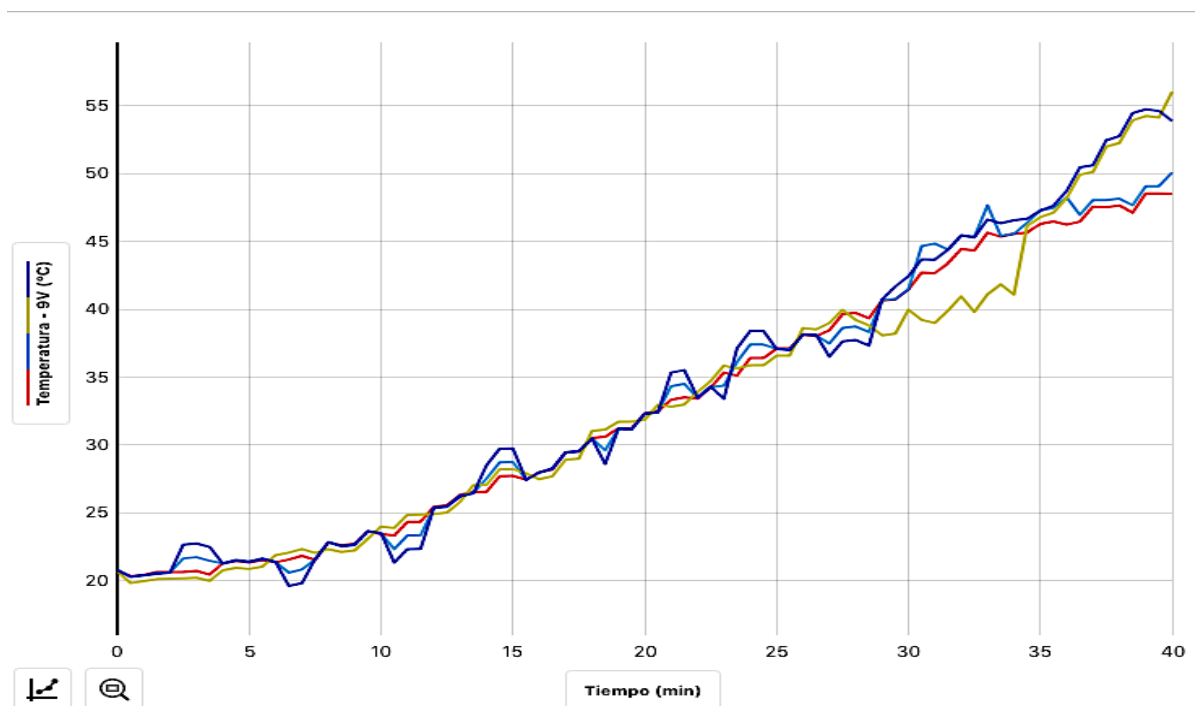
Gráfica 21. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja puesto durante el calentamiento óhmico de 3V durante 40min



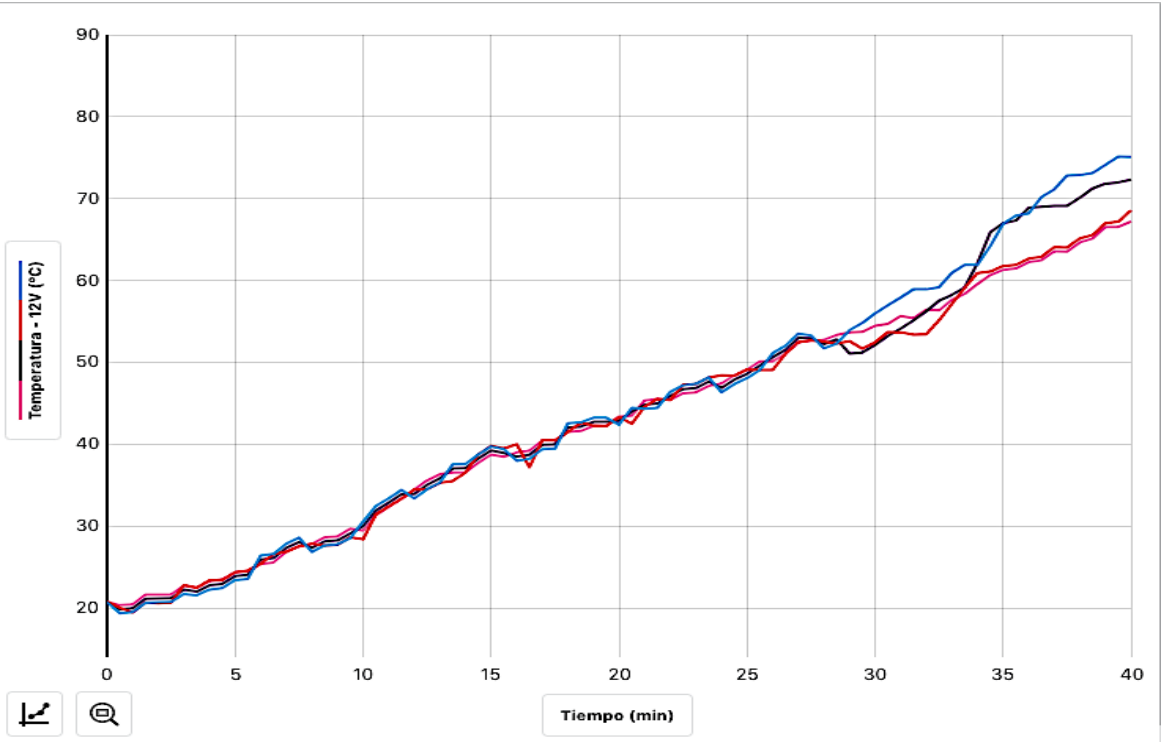
Gráfica 22. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 6V durante 40min



Gráfica 23. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 9V durante 40min



Gráfica 24. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja durante el calentamiento óhmico de 12V durante 40min



Las tablas que se muestran a continuación son los valores finales obtenidos de la conductividad eléctrica, pH y temperatura en las gráficas del 1 – 24.

Tabla 1. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnetico (mT)	Conductividad eléctrica (µS cm^{-1})			
	C1	C2	C3	C4
125	4516	4506	4508	4519
143	4522	4519	4526	4529
190	4538	4543	4541	4532
260	4560	4563	4548	4565

Tabla 2. pH de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnetico	pH			
	pH1	pH2	pH3	pH4
125	3.592	3.471	3.482	3.492
143	3.456	3.443	3.451	3.460
190	3.439	3.438	3.422	3.433
260	3.403	3.404	3.389	3.393

Tabla 3. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnetico (mT)	Temperatura (°C)			
	T1	T2	T3	T4
125	21.477	21.572	21.292	21.465
143	21.432	21.371	21.459	21.462
190	21.418	21.506	21.469	21.521
260	21.422	21.462	21.476	21.495

Tabla 4. Conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje ($\pm 0.01V$)	Conductividad eléctrica ($\mu S cm^{-1}$)			
	C1	C2	C3	C4
3.00	5712	5932	5784	5873
6.00	5914	5986	6008	6023
9.00	6078	6115	6134	6119
12.00	6308	6335	6349	6305

Tabla 5. pH de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje ($\pm 0.01V$)	pH			
	pH1	pH2	pH3	pH4
3.00	3.16	3.20	3.20	3.24
6.00	3.23	3.15	3.14	3.17
9.00	3.07	3.13	3.11	3.12
12.00	3.09	3.09	3.05	3.10

Tabla 6. Temperatura de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje ($\pm 0.01V$)	Temperatura (°C)			
	T1	T2	T3	T4
3.00	35.46	37.25	32.54	38.21
6.00	36.76	38.93	42.65	43.12
9.00	48.52	50.08	56.03	53.87
12.00	67.21	72.32	68.56	75.09

4.2. Datos procesados

Tabla 7. Variación de la conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnético (mT)	Variación de la conductividad eléctrica (μScm^{-1})			
	C1	C2	C3	C4
125	142	132	134	145
143	143	140	147	150
190	146	151	149	140
260	157	160	145	162

Tabla 8. Variación del pH de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnético (mT)	Variación de la pH			
	pH1	pH2	pH3	pH4
125	-0.042	-0.078	-0.068	-0.059
143	-0.093	-0.106	-0.100	-0.092
190	-0.110	-0.111	-0.128	-0.117
260	-0.146	-0.145	-0.162	-0.158

Tabla 9. Variación de la temperatura de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnético (mT)	Variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			
	T1	T2	T3	T4
125	0.627	0.632	0.621	0.635
143	0.665	0.68	0.647	0.671
190	0.681	0.676	0.689	0.65
260	0.709	0.703	0.694	0.714

Tabla 10. Promedio de la variación de la conductividad eléctrica promedio del jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

Intensidad de campo magnético (mT)	Incertidumbre absoluta del campo magnético (mT)	Promedio de la variación de la conductividad eléctrica (μScm^{-1})	Incertidumbre de la variación de conductividad eléctrica (μScm^{-1})
125	13	138	7
143	18	145	5
190	22	146	6
260	39	156	11

Tabla 11. Promedio de la variación del pH del jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

intensidad de campo magnético (mT)	Incertidumbre absoluta del campo magnético (mT)	Promedio de la variación del pH	Incertidumbre de la variación de pH
125	13	-0.062	0.018
143	18	-0.098	0.007
190	22	-0.117	0.007
260	39	-0.153	0.010

Tabla 12. Promedio de la variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido expuesta a diferentes intensidades de campo magnético luego de 40 minutos.

intensidad de campo magnético (mT)	Incertidumbre absoluta del campo magnético (mT)	Promedio de la variación de la temperatura (°C)	Incertidumbre de la variación de la temperatura (°C)
125	13	0.629	0.016
143	18	0.666	0.006
190	22	0.674	0.009
260	39	0.705	0.011

Tabla 13. Variación de la conductividad eléctrica de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje ($\pm 0.01V$)	Variación de la conductividad eléctrica ($\mu S cm^{-1}$)			
	C1	C2	C3	C4
3.00	1334	1554	1403	1501
6.00	1536	1606	1627	1642
9.00	1700	1734	1750	1750
12.00	1930	1958	1957	1929

Tabla 14. Variación de la temperatura de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje ($\pm 0.01V$)	Variación de la temperatura (°C)			
	T1	T2	T3	T4
3.00	14.71	16.37	11.74	17.44
6.00	15.89	18.15	21.95	22.42
9.00	27.75	29.26	35.33	33.09
12.00	46.44	51.61	47.78	54.37

Tabla 15. Variación del pH de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos.

Voltaje ($\pm 0.01V$)	Variación del pH			
	pH1	pH2	pH3	pH4
3.00	-0.39	-0.381	-0.38	-0.33
6.00	0.67	-0.42	-0.44	-0.38
9.00	0.52	-0.45	-0.47	-0.43
12.00	-0.49	-0.47	-0.52	-0.48

Tabla 16. Variación de la temperatura de 4 muestras de jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje ($\pm 0.01V$)	Variación de la temperatura ($^{\circ}C$)			
	T1	T2	T3	T4
3.00	14.71	16.37	11.74	17.44
6.00	15.89	18.15	21.95	22.42
9.00	27.75	29.26	35.33	33.09
12.00	46.44	51.61	47.78	54.37

Tabla 17. Promedio de la variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje (V)	Incertidumbre del voltaje (V)	Promedio de la variación de la conductividad eléctrica ($\mu S cm^{-1}$)	Incertidumbre de la variación de conductividad eléctrica ($\mu S cm^{-1}$)
3.00	0.01	1,448	114
6.00	0.01	1,603	67
9.00	0.01	1,733	33
12.00	0.01	1,943	15

Tabla 18. Promedio de la variación del pH del jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

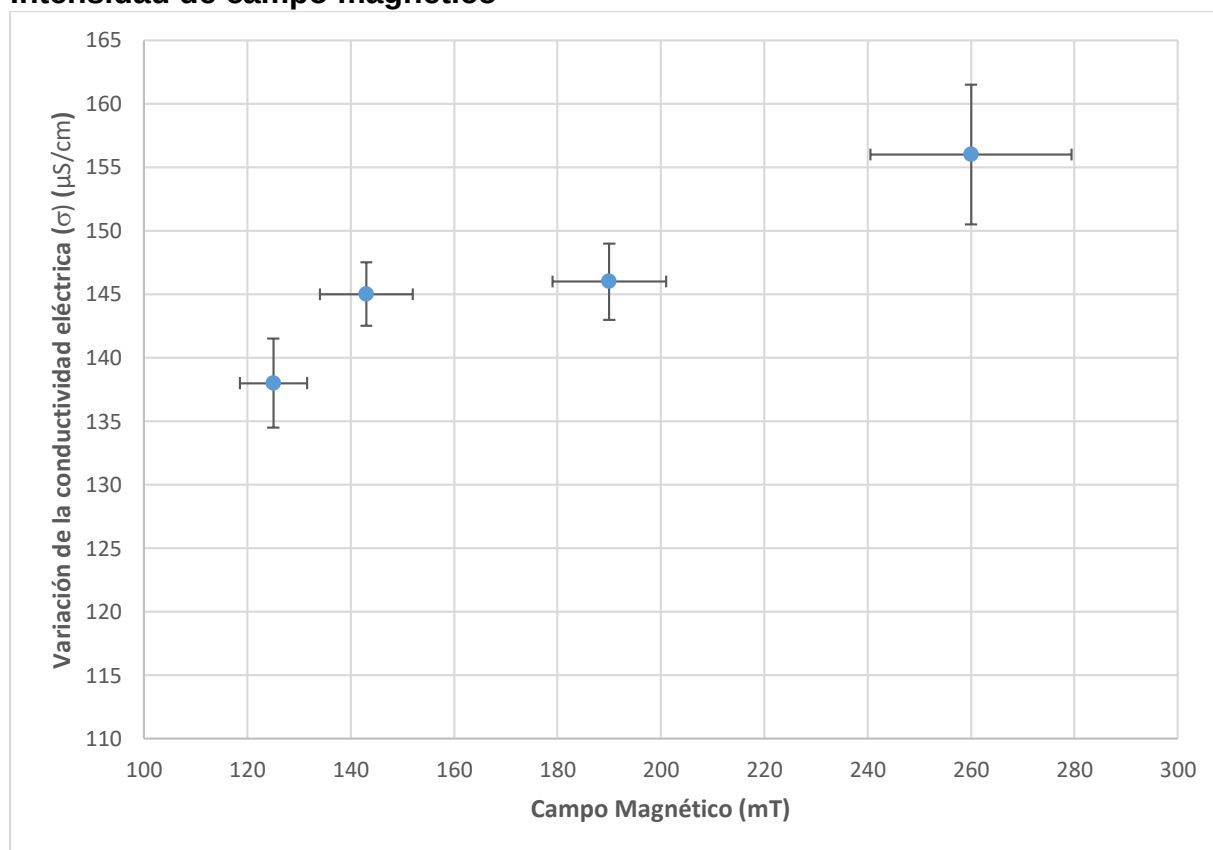
Voltaje (V)	Incertidumbre del voltaje (V)	Promedio de la variación del pH	Incertidumbre de la variación del pH
3.00	0.01	-0.37	0.05
6.00	0.01	-0.39	0.06
9.00	0.01	-0.46	0.03
12.00	0.01	-0.49	0.03

Tabla 19. Promedio de la variación de la temperatura del jugo de naranja tras haber sido calentada ohmicamente con diferentes voltajes por 40 minutos

Voltaje (V)	Incertidumbre del voltaje (V)	Promedio de la variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Incertidumbre de la variación de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
3.00	0.01	15.07	3.32
6.00	0.01	19.60	3.71
9.00	0.01	31.36	3.98
12.00	0.01	50.05	4.32

4.3. Gráficas

Gráfica 25. Variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja vs Intensidad de campo magnético

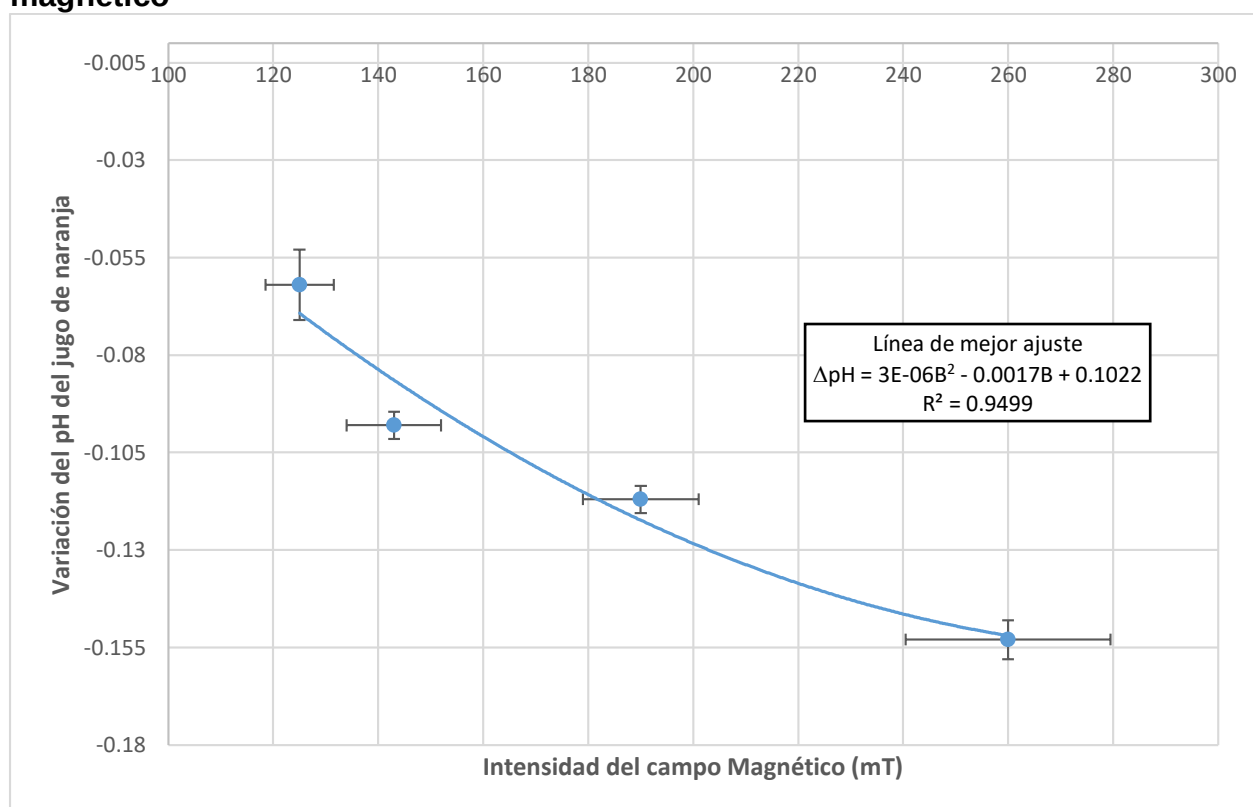


La gráfica 25 muestra que existe un aumento de la conductividad eléctrica con la intensidad de campo magnético. Sin embargo, este aumento no es proporcional. La máxima variación se presentó para las muestras expuestas a 260 mT, obteniendo como variación promedio de $156 \mu\text{Scm}^{-1}$. Al aumentar la intensidad de campo magnético el jugo de naranja presenta una mayor capacidad

para medir la electricidad. Asimismo, puede observarse en la gráfica 1 que la diferencia de las variaciones para las muestras expuestas a 143mT y 190mT fueron mínimas, de $1 \mu\text{Scm}^{-1}$.

Adicionalmente, en el gráfico 25 se puede observar que el error porcentual de las medidas de la conductividad aumenta con el incremento de la conductividad eléctrica.

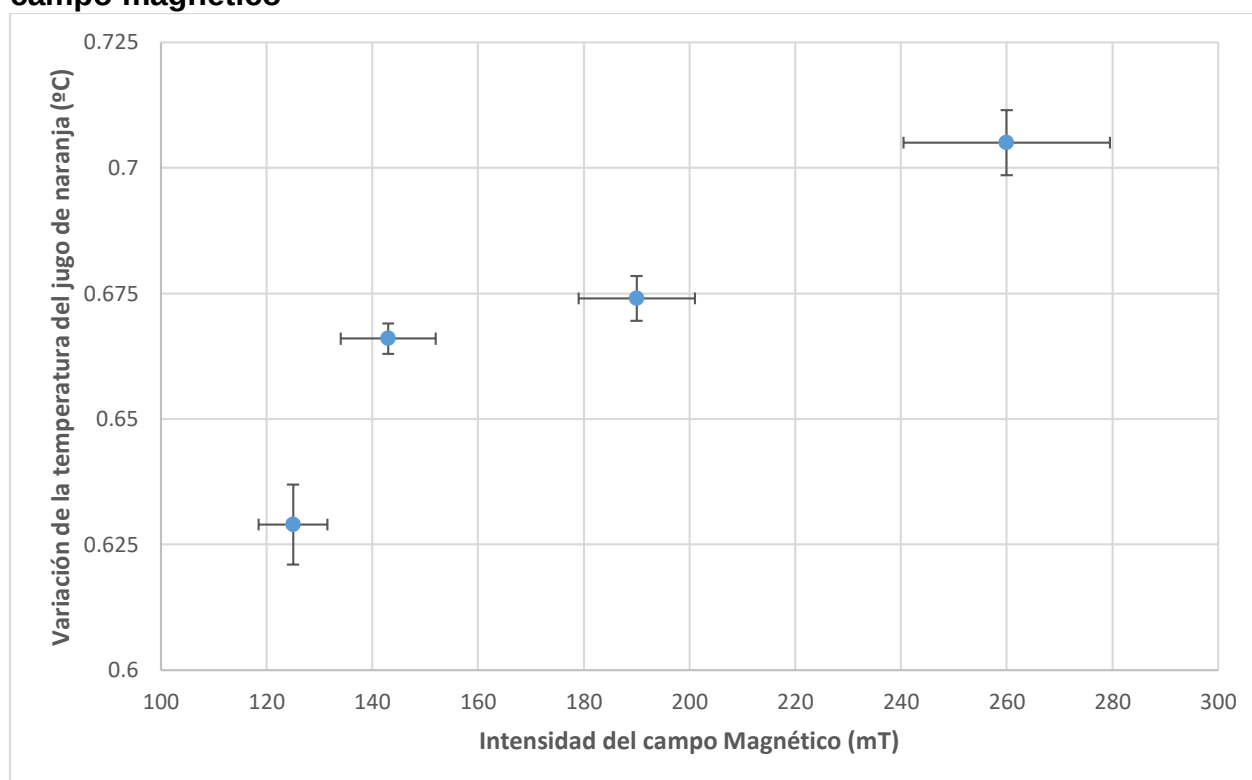
Gráfica 26. Variación del pH del jugo de naranja vs Intensidad de campo magnético



En el gráfico 26 se puede apreciar la correlación negativa entre la intensidad de campo magnético expuesto y la variación en el pH del jugo de naranja. Al aumentar el campo magnético, la muestra del jugo de naranja se vuelve ligeramente más ácida. Como se explico en el capítulo 1, valores menores de pH inhiben el crecimiento bacteriano.

A partir de esta gráfica se puede observar que la aplicación de campos magnéticos al jugo de naranja puede servir para detener el desarrollo de microorganismos, y junto con ello alargar la vida útil del alimento. Para los valores trabajados no se lograron los valores de pH necesarios para detener este crecimiento, sin embargo, se pudo hallar que a mayores intensidades de campo magnético pueden lograrse menores valores de pH.

Gráfica 27. Variación de la temperatura del jugo de naranja vs Intensidad de campo magnético

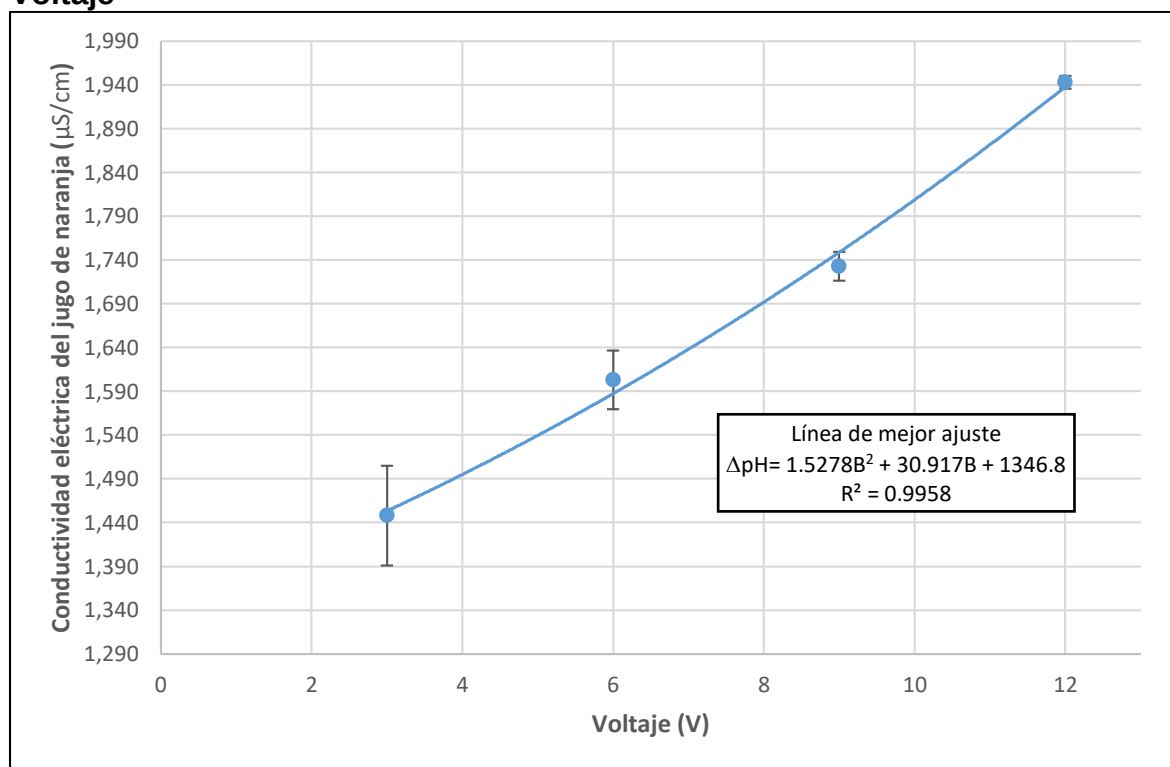


A partir de la gráfica 27 se observa que existe una correlación positiva entre la variación de la temperatura del jugo de naranja y la intensidad del campo magnético al que ha sido expuesto. El campo magnético como se explico en el capítulo 1 es un método no térmico, por lo que no se esperaba que haya una variación significativa en la temperatura de las muestras. No obstante, la gráfica 27

muestra que mayores intensidades de campo magnético tienen un mayor efecto en la temperatura de la muestra.

El aumento en la temperatura de las muestras comprueba que el campo magnético proporciona energía cinética a las moléculas del jugo de naranja, logrando movimientos de traslación y vibratorios mayores. De acuerdo con la ley de Maxwell – Boltzmann este aumento en su energía cinética incrementa proporcionalmente la temperatura de las partículas.

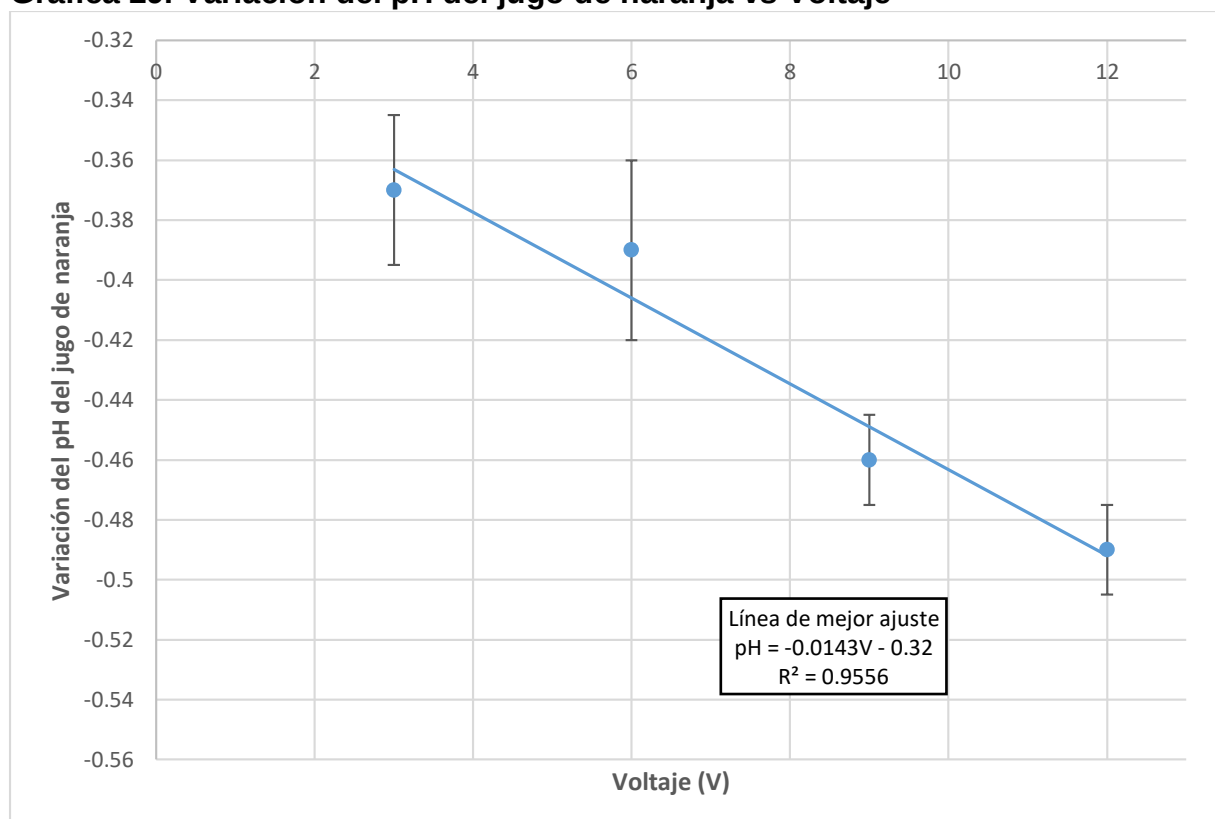
Gráfica 28. Variación de la conductividad eléctrica del jugo de naranja vs Voltaje



En la gráfica 28 se observa la fuerte correlación positiva entre la conductividad eléctrica del jugo de naranja y el voltaje del calentamiento óhmico al que ha sido expuesto. La gráfica 4 demuestra que el calentamiento óhmico afecta la concentración iónica del jugo de naranja. La variación máxima del jugo de naranja fue de $1943 \mu\text{Scm}^{-1}$ tras su exposición a un campo magnético de 260mT.

En la gráfica 28, las barras de error del voltaje son muy pequeñas para ser visualizadas. Las barras de error para el dato correspondiente al de 12V apenas se observan. A medida que aumentaba el voltaje, las diferencias entre las conductividad eléctricas alcanzadas por las muestras fueron menores.

Gráfica 29. Variación del pH del jugo de naranja vs Voltaje

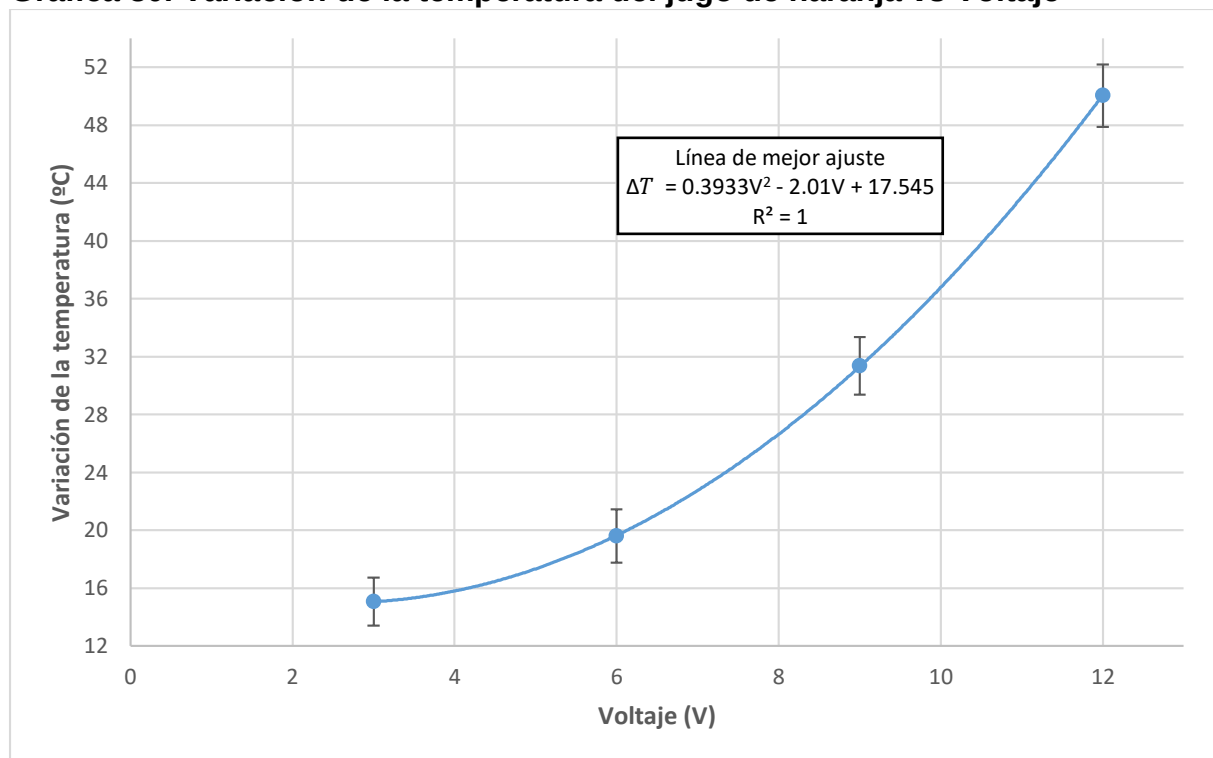


En la gráfica 29 se presenta la relación directamente proporcional entre la variación del pH y el voltaje aplicado en el calentamiento óhmico. Los resultados de las investigaciones de Perasiriyan y Priya también demostraron este aumento en la variación de pH a medida que el voltaje aumentaba.

A su vez, esto nos permite concluir que para estos valores de voltaje, el valor de 12V logra menores valores de pH en el jugo de naranja. Al igual que para exposición a campos magnéticos, para los valores de voltaje trabajados no se lograron una disminución menor a un valor de pH de 5 para inhibir el crecimiento

microbiano. Aun así, la gráfica 5 demuestra que mayores voltajes logran menores valores de pH.

Gráfica 30. Variación de la temperatura del jugo de naranja vs Voltaje



En la gráfica 30, se observa que hay una perfecta correlación positiva ($r=1$) entre la variación de la temperatura de jugo de naranja y el aumento en el voltaje. Esto coincide con el descubrimiento de Joule de que $Q = I^2R$, que también se puede escribir como: $mc\Delta T = \frac{V^2}{R}$, donde m es la masa del jugo de naranja, c su calor específico y R su resistencia. Por tanto:

$$\Delta T \propto V^2$$

Tomando en cuenta la ley de Maxwell – Boltzmann, este aumento de temperatura significa que el paso de corriente eléctrica a través de la muestra del jugo de naranja transfiere energía cinética a sus moléculas. Este aumento en la temperatura de las muestras también explicaría en parte el aumento significativo en las conductividades eléctricas de las muestras en la gráfica 28.

CONCLUSIONES

Las variables de conductividad eléctrica, pH y temperatura del jugo de naranja fueron afectadas tanto por la exposición a campos magnéticos como al calentamiento óhmico.

Con respecto al primer método, la gráfica 26 demuestra que la exposición del jugo de naranja a campos magnéticos logra disminuir su pH siguiendo una función cuadrática. Esto implica que al aumentar la intensidad del campo magnético se pueden lograr menores valores de pH, lo cual es importante para lograr la conservación de la vida útil del jugo de naranja al inhibir el crecimiento de microorganismos. Asimismo, la variación en la temperatura del jugo de naranja luego de haber sido sometida 40 minutos a este proceso, ha mostrado ser pequeña. Esto es importante en la conservación del jugo de naranja dado que el aumento de temperatura de los alimentos se ha asociado con una pérdida en su calidad y valor nutricional. Mayores intensidades de campo magnético logran un mayor aumento de la temperatura del jugo de naranja transfiriéndole una mayor energía cinética a sus moléculas. La conductividad eléctrica también experimentó una variación mínima de $138\mu\text{Scm}^{-1}$ para un campo magnético de 125mT y máxima de $156\mu\text{Scm}^{-1}$ para un campo magnético de 160mT. Este aumento posiblemente se deba al aumento ligero en la temperatura del jugo de naranja.

Tras el calentamiento óhmico, la variación máxima de la conductividad eléctrica fue de $1943\mu\text{Scm}^{-1}$, un valor mucho mayor que el máximo alcanzado por la exposición de las muestras de jugo de naranja a campos magnéticos. Esta alta conductividad se puede explicar en gran parte por la variación de su temperatura, como se observa en las gráficas 30 y 28, tanto la variación de conductividad como

de temperatura con respecto al voltaje aplicado tiene como línea de mejor ajuste una función cuadrática. La gráfica 29 presenta que en el experimento, a medida que aumentaba el voltaje aplicado mayor era la variación del pH del alimento. La máxima variación alcanzada fue de 0.49 a comparación del alcanzado por el campo magnético que fue de 0.153. La máxima temperatura registrada en el calentamiento óhmico fue de 50.05°C para 12V.

Finalmente, ambos procesos aumentaron la conductividad eléctrica y la temperatura, y lograron disminuir el pH de las muestras. Para los valores trabajados y un tiempo de 40 minutos, el método de calentamiento óhmico tuvo un mayor en las variables de conductividad eléctrica, pH y temperatura del jugo de naranja a comparación de las muestras expuestas a campos magnéticos.

MEJORA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación puede mejorar en los siguientes aspectos:

Imanes y distancias del centro del imán: Se recomiendan el uso de imanes que logren mayores intensidades de campo magnético. Esto con el fin de que las distancias desde el centro del imán sean mayores y haya una menor incertidumbre en la medición de la intensidad del campo.

Aumentar el rango de intensidad de campo magnético: Relacionado con lo anterior se recomienda trabajar con intensidades de campo magnético que tengan una mayor diferencia entre sí. Por ejemplo, que entre los valores escogidos haya una diferencia mayor de 100mT. El motivo de ello es que haya una mayor diferencia entre las distancias que se debe colocar la muestra del centro del imán. Como se muestra en el anexo 2, las diferencias entre estas distancias eran mínimas teniendo en cuenta que su grado de incertidumbre era de 0.05cm

Cantidad de muestras: Se recomiendan realizar la prueba con más muestras de jugo de naranja para cada intensidad de campo magnético así como cada voltaje.

Electrodos: Los electrodos utilizados en el experimentos fueron de una longitud de 14 cm. Se recomienda que para muestras de 20ml el tamaño de los electrodos sea menor para facilitar el proceso y que los electrodos pueden desequilibrar la muestra.

Medición de la intensidad de campo magnético: Se recomienda que para la medición de campos magnéticos se utilice un método más directo con una menor incertidumbre que la registrada en el presente trabajo.

Tiempo de exposición: Se recomienda trabajar con mayores tiempos de exposición a los métodos trabajados.

Tiempo de medición: Asimismo para una mayor profundización de la investigación, se podría registrar los cambios de conductividad eléctrica, temperatura y pH luego de haber sometido al proceso. Por ejemplo, registrar sus valores cada 4 horas.

Por último, también puede profundizarse en relación en las variaciones de las magnitudes abarcadas. Por ejemplo observar como es la variación del pH con respecto a la temperatura para cada proceso.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Sinthiya, R. (2015). *Design and Fabrication of Ohmic Heating Equipment*. Food Science and Quality Management. Recuperado el 18 de julio del 2019 de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.676.9073&rep=rep1&type=pdf>
- Fernandez, J.J, Gustavo, V., Barbosa, C., Swanson, G. (2001). *Tecnologías emergentes para la conservación de alimentos sin calor*. Recuperado el 18 de julio del 2019 de: <https://doi.org/10.3989/arbor.2001.i661.827>
- Shivmurti, S., Roy, S. (2014). *Changes in electrical conductivity of liquid foods during ohmic Heating. Department of Food Processing Technology*. Recuperado el 18 de julio del 2019 de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01055.x>
- Bauer, W., & Westfall, G. (2011). *Física para ingeniería y ciencias: Volumen 2* (1st ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Barbosa, G., Bermúdez, D. (2010). *Procesamiento no térmico de alimentos Nonthermal Processing of Food*. Center for Nonthermal Processing of Food. Recuperado el 18 de junio del 2019 de: <http://www.redalyc.org/pdf/3576/357633694008.pdf>
- Achir, N., Dhuique, M., Thiziri, H., Madani, K., Pain, J.P., Dornier, M. (2017). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Recuperado el 26 de julio del 2019 de: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01540843>
- Joshi, C. (2018). Basics of Ohmic Heating - A Novel Food Preservation Technique. *Department of technology, Shivaji University*. Recuperado el 02 de agosto del 2019 de: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1801153.pdf>

- Perasiriyana, V., Priya, S., Mangala, A., Ramasamy, T., (2016). *Design and Evaluation of Electrical Resistance Unit (Ohmic Heating) for Food Processing*. el 18 de julio del 2019 International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Recuperado de:
<https://pdfs.semanticscholar.org/5c3c/90a73ea37458b33faaf5ca33adc33cfaec13.pdf>
- Camargo, M., Alves, C., Martins, A., Soares, V., Vessoni, T. (2010). *Ohmic heating - a review*. Science direct. Recuperado el 08 de julio del 2019 de:
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.06.003>
- Lunk, B., Beichner, R. (2011). *Exploring Magnetic Fields with a Compass*. North Carolina State University. el 04 de agosto del 2019 Recuperado de:
<https://projects.ncsu.edu/PER/Articles/LunkBFieldArticle.pdf>
- Kumar, T. (2018). *A Review on Ohmic Heating Technology: Principle, Applications and Scope*. ResearchGate. Recuperado el 21 de junio de:
https://www.researchgate.net/publication/327583266_A_Review_on_Ohmic_Heating_Technology_Principle_Applications_and_Scope
- Macias Chiriguaya, K. J., & Mora Carrera, K. K. (2017). *Efecto del Calentamiento Óhmico sobre la inactivación microbiana y las propiedades físico-químico del extracto de Guayusa (Ilex guayusa)*. Tesis. Recuperado a partir de
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22125>

ANEXOS

Anexo 1: Medición del campo magnético

El cálculo del campo magnético de la tierra fue realizado por el sitio web

<https://www.ngdc.noaa.gov>. La longitud y latitud se hallaron con la aplicación de

Mapas del Iphone 6. La latitud fue 6° 48' 45" y la longitud 79° 54' 23". El mismo sitio

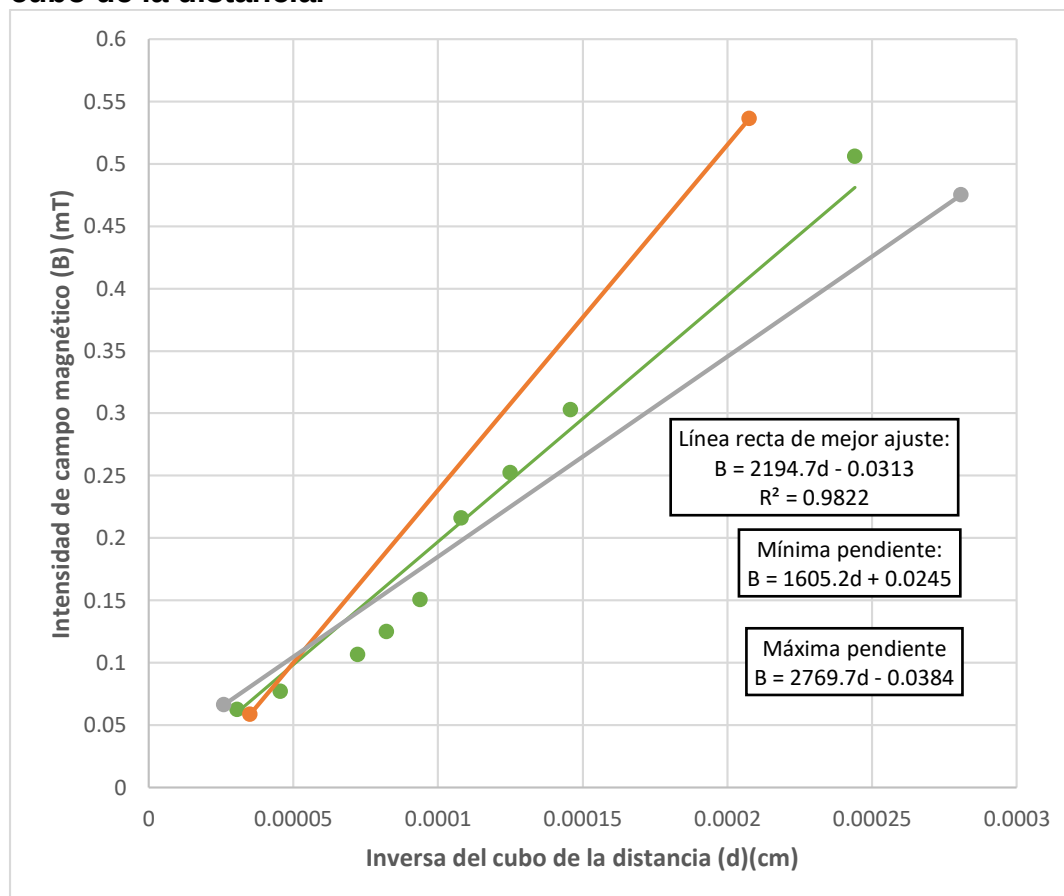
web proporciona la incertidumbre de la medición del campo magnético de la tierra.

Tabla 20. Intensidad del campo magnético de la tierra y angulo de desviación de la aguja de la brújula para diferentes distancias desde el centro del imán.

Intensidad del campo magnético de la tierra ($\pm 0.00152\text{mT}$)	Distancia ($\pm 0.05\text{cm}$)	Angulo de desviación de la aguja ($\pm 0.01^\circ$)				
		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5
0.026505	16.00	87.00	87.00	87.00	87.00	87.00
	19.00	85.00	85.00	85.00	85.00	85.00
	20.00	84.00	81.00	81.00	81.00	81.00
	21.00	83.00	83.00	83.00	83.00	83.00
	22.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00
	23.00	78.00	78.00	78.00	78.00	78.00
	24.00	76.00	79.00	79.00	79.00	79.00
	28.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00
	32.00	67.00	67.00	67.00	67.00	67.00

Distancia ($\pm 0.05\text{cm}$)	Campo magnético neto (mT)	Incertidumbre absoluta del campo magnético neto (mT)
16	0.5057	0.0306
19	0.3030	0.0182
20	0.2522	0.0151
21	0.2159	0.0129
22	0.1503	0.0090
23	0.1247	0.0074
24	0.1063	0.0063
28	0.0770	0.0046
32	0.0624	0.0037

Gráfica. Linealización de la intensidad de campo magnético vs el inverso del cubo de la distancia.



Tomando:

$$d = r^{-3}$$

Se puede establecer que la constante k de la ecuación 6 es 2194.7 mT cm^3 .

$$B = \frac{2194.7}{r^3}$$

Ecuación 8

La incertidumbre de la constante k es:

$$\Delta k = \frac{2769.7 - 1605.2}{2}$$

$$\Delta k = 287.5 \text{ mT cm}^3$$