



# Universidad Nacional Autónoma de Chota

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Unidad de Investigación

RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN N° 153-2023-FCA/UNACH

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, **hace constar** que el Informe Final de Tesis Titulado. “**Efecto del tratamiento magnético en las características de germinación de semillas de maíz morado (*Zea mays L.*) variedad INIA 601**”; desarrollado por la **Bach. Yajaira Marianela Gavidia Pérez** de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, **asesor: M. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso y coasesor: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano**; presenta un **ÍNDICE DE SIMILITUD DEL 23%** sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 120-2022-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 12 de setiembre de 2023.

Atentamente

Dra. Doris Elena Delgado Tapia  
Directora de la Unidad de Investigación  
de la Facultad de Ciencias Agrarias

# IT-CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD-UIFCA YMGP: Efecto del tratamiento magnético en las características de germinación de semillas de maíz morado (Zea mays L.) variedad INIA 601.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://portaluni.unach.edu.pe">portaluni.unach.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.scielo.org.co">www.scielo.org.co</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.inia.gob.pe">repositorio.inia.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%

# leucocephala SEEDS USING IMAGE ANALYSIS", Revista Árvore, 2019

Publicación

92

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

Similitud según fuente	
Índice de similitud	
<b>23%</b>	
Internet Sources:	22%
Publicaciones:	6%
Trabajos del estudiante:	5%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Efecto del tratamiento magnético en las características de germinación de semillas  
de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad INIA 601.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**AUTOR**


Gavidia Pérez Yajaira Marianela

**ASESOR**

M. Sc. Chuquizuta Trigoso Tony Steven

**COASESOR**

Dr. Arteaga Miñano Hubert Luzdemio

  
Tony Steven Chuquizuta Trigoso  
CIP. 169162  
Docente UNACH

  
Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano  
CIP N° 66079  
Docente UNJ

**CHOTA – PERÚ**

**2023**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

ACTA N° 023-2023/EPIA - FCA/UNACH

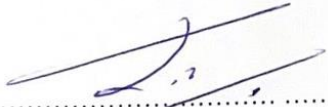
Siendo las 10:05 horas, del día 08 de agosto de 2023, los miembros del Jurado de Tesis titulada: **“Efecto del tratamiento magnético en las características de germinación de semillas de maíz morado (*Zea mays* L.) variedad INIA 601”**, integrado por:

1. Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio - Presidente
2. Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo- Secretario
3. Mg. Edson Elvis Ramirez Tixe- Vocal

Sustentada por **Gavidia Pérez Yajaira Marianela**, con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Agroindustrial.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerdan **APROBAR** la tesis, calificándola con la nota de: 18 (dieciocho), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare **EXPEDITO** para conferirle el título profesional de Ingeniero agroindustrial.

Firmado en: Colpa Huacaris, 08 de Agosto del 2023.

  
.....  
Ms. Augusto Antonio Mechato Anastasio.  
Presidente

  
.....  
Dra. Melina Luz Mary Cruzado Bravo  
Secretario

  
.....  
Mg. Edson Elvis Ramirez Tixe  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A mi abuela, desde el cielo eres esa luz que me da fuerza para seguir adelante.

A mis padres Olga Pérez Días y José Marlo Gavidia Diaz, hermanos Sandra Gavidia Pérez y Denis Alexander Gavidia Pérez, sobrino Sebastián, por ser los pilares más importantes y demostrarme día a día su cariño y apoyo incondicional a pesar de las dificultades.

A mi tío Aníbal Cayota Gavidia por su apoyo incondicional y por sus palabras de aliento.

A mis amigas Evelyn, Maritza, Magaly, Lesly y Tatiana por acompañarme en todo el proceso de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios, por haberme dado la vida, salud y permitirme el haber llegado hasta este momento importante en mi vida profesional.

A mi asesor Mg. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso y coasesor Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano, por la orientación, paciencia y ayuda que me brindaron durante el desarrollo de este trabajo.

Al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) – CONCYTEC por el financiamiento en el marco de la convocatoria de Proyectos de Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2020-02 – Fase II [ Contrato N° 205-2020-FONDECYT]

## INDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>II</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 BASES TEÓRICAS- CIENTÍFICAS.....</b>	<b>16</b>
2.2.1 <i>Origen Maíz Morado .....</i>	<i>16</i>
2.2.2 <i>Composición Química del Maíz Morado.....</i>	<i>17</i>
2.2.3 <i>Variedades de Maíz Morado.....</i>	<i>17</i>
2.2.4 <i>Maíz Morado INIA 601 o " INIA Negro "</i> .....	<i>17</i>
2.2.5 <i>Calidad de la Semilla.....</i>	<i>19</i>
2.2.6 <i>Germinación de Semillas .....</i>	<i>19</i>
2.2.7 <i>Vigor de la Semilla.....</i>	<i>22</i>



2.2.8 Campos Magnéticos.....	23
<b>2.3 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>27</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1. UBICACIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Población .....	27
3.2.2 Muestra .....	27
<b>3.3. EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS .....</b>	<b>27</b>
3.3.1 Equipos .....	27
3.3.2 Materiales .....	28
<b>3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>29</b>
3.4.1 Determinación de Humedad y Cenizas.....	34
3.4.2 Construcción de Prototipos y Sistema de Visión Computacional .....	35
3.4.3 Características de Germinación de Semillas de Maíz Morado Variedad INIA 601.....	36
<b>3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</b>	<b>38</b>
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>39</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1.1 Determinación de la Humedad y Cenizas de las Semillas de Maíz Morado Variedad INIA 601 .....	39

4.1.2	<i>Construcción de Prototipos de Germinador Magnético Estático y Pulsado.....</i>	39
4.1.3	<i>Determinación del Efecto de la Exposición con Campos Magnéticos Estáticos en las Características de Germinación de Maíz Morado Variedad INIA 601 .....</i>	41
4.1.4	<i>Determinación del Efecto de la Exposición con Campos Magnéticos Pulsados en las Características de Germinación de Maíz Morado Variedad INIA 601.....</i>	46
	<b>CAPITULO V.....</b>	52
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	52
5.1	<b>CONCLUSIONES.....</b>	52
5.2	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	53
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	54
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	54
	<b>CAPÍTULO VII .....</b>	60
	<b>ANEXOS.....</b>	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Composición química del maíz morado .....	17
<b>Tabla 2</b> Tratamientos experimentales de campos magnéticos estáticos. ....	30
<b>Tabla 3</b> Tratamientos experimentales de campos magnéticos pulsados. ....	31
<b>Tabla 4</b> Promedio y error estándar de las variables dependientes que han sido evaluada a las semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos. ....	43
<b>Tabla 5</b> Promedio y error estándar de las variables dependientes que han sido evaluada a las semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	49
<b>Tabla 6</b> Coeficiente de determinación de medición de longitud manual y con ImageJ de campos de los tratamientos con campos magnéticos pulsados y estáticos. ....	64
<b>Tabla 7</b> Test de normalidad de Shapiro Wilk para campos magneticos estaticos. ....	72
<b>Tabla 8</b> ANOVA o Kruskall-Wallis. ....	73
<b>Tabla 9</b> Tukey para porcentaje de semillas germinadas; velocidad de emergencia; tiempo medio de germinacion; indice de vigor I - manual; indice de vigor I - ij y indice de vigor II. ....	75
<b>Tabla 10</b> Test de normalidad de Shapiro Wilk para campos magnéticos pulsados. ....	82
<b>Tabla 11</b> Kruskal Wallis. ....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Planta y el grano de maíz morado. ....	16
<b>Figura 2</b> Mazorca del maíz morado variedad INIA 601.....	18
<b>Figura 3</b> Panca, granos y coronta de maíz morado variedad INIA 601.....	19
<b>Figura 4</b> Proceso de germinación de la semilla. ....	20
<b>Figura 5</b> El comportamiento de campos magnéticos. ....	24
<b>Figura 6</b> Diagrama experimental para semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos. ....	32
<b>Figura 7</b> Diagrama experimental para semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.....	33
<b>Figura 8</b> Prototipo ensamblado de campos magnéticos estáticos. ....	39
<b>Figura 9</b> Prototipo de campos magnéticos pulsados. ....	40
<b>Figura 10</b> Sistema de visión computacional. ....	60
<b>Figura 11</b> Placas con raíz e hipocótilo cortado.....	60
<b>Figura 12</b> Semillas certificadas de maíz morado variedad INIA 601.....	61
<b>Figura 13</b> Formato Excel donde fue registrado los datos de semillas de maíz morado variedad INIA 601 germinadas.....	61
<b>Figura 14</b> Medición de la longitud de raíz e hipocótilo en el software ImageJ. ....	62
<b>Figura 15</b> Dimensiones de la tapa y soporte impreso en 3D.....	62
<b>Figura 16</b> Circuito de control de campos magnéticos pulsados.....	63
<b>Figura 17</b> Gráfico de barras de porcentaje de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.....	66

<b>Figura 18</b> Gráfico de barras velocidad de emergencia de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos. ....	67
<b>Figura 19</b> Gráfico de barras de tiempo medio de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos. ....	68
<b>Figura 20</b> Gráfico de barras de índice de vigor I-manual de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos. ....	69
<b>Figura 21</b> Gráfico de barras de índice de vigor I-ij de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estático. ....	70
<b>Figura 22</b> Gráfico de barras de índice de vigor II de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos. ....	71
<b>Figura 23</b> Gráfico de barras de porcentaje de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	76
<b>Figura 24</b> Gráfico de barras de velocidad de emergencia de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	77
<b>Figura 25</b> Gráfico de barras de tiempo medio de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	78
<b>Figura 26</b> Gráfico de barras de índice de vigor I-manual de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	79
<b>Figura 27</b> Gráfico de barras de índice de vigor I-Ij de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	80
<b>Figura 28</b> Gráfico de barras de índice de vigor II de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados. ....	81

<b>Figura 29</b> Soporte de vidrio 24 semillas de maíz morado variedad INIA 601 en el prototipo encargado de generar campos magnéticos estáticos.....	86
<b>Figura 30</b> Semillas hidratadas en el día 2. ....	86
<b>Figura 31</b> Armado de prototipo de campos magnéticos estáticos. ....	87
<b>Figura 32</b> Medición manual de la longitud de la raíz e hipocótilo de las semillas de maíz morado germinadas. ....	88

## RESUMEN

La producción de maíz morado variedad INIA 601, se viene incentivando, debido a que presenta un alto contenido de antocianinas muy requeridas en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Sin embargo, los rendimientos bajos de producción en campo pueden ser mejorados con el uso de la bioestimulación magnética en la etapa de germinación, es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la exposición a campos magnéticos estáticos (40 mT) y pulsados (8 mT) en las características de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 en tiempos de 30, 60 y 120 min en prototipos de campos magnéticos estáticos (ocho imanes de neodimio N42), de campos magnéticos pulsados (fuente de tensión a 15 V, controlador de pulsos a 30 Hz y 60 Hz y bobina solenoide). Como testigo se utilizó semillas sin exposición magnética. Se evaluaron las características de germinación que incluyeron; porcentaje de semillas germinadas, velocidad de emergencia, tiempo medio de germinación, índice de vigor I e índice de vigor II. Los resultados obtenidos evidencian que los campos magnéticos tanto estáticos y pulsados mejoraron las características de germinación de las semillas de maíz morado INIA 601 respecto al control, sobre todo en el índice de vigor II que en campos magnéticos estáticos se encontró diferencia significativa respecto al control, siendo el tiempo que mejor respuesta tuvo el de 30 min para ambos tipos de campos magnéticos y a 30 Hz para el caso de campos magnéticos pulsados. Por lo tanto, se concluye que los campos magnéticos estáticos y pulsados bioestimulan las semillas de maíz morado INIA 601 durante el proceso de germinación.

**Palabras claves:** Bioestimulación magnética, germinación, semillas, maíz morado.

## ABSTRACT

Purple corn variety INIA 601 production is being encouraged due to its high content of anthocyanins, which are highly required in the food, pharmaceutical and cosmetic industries. However, low yields in field production can be improved with the use of magnetic biostimulation at the germination stage. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of exposure to static (40 mT) and pulsed (8 mT) magnetic fields on the germination characteristics of purple corn seeds variety INIA 601 at times of 30, 60 and 120 min in prototypes of static magnetic fields (eight N42 neodymium magnets), pulsed magnetic fields (voltage source at 15 V, pulse controller at 30 Hz and 60 Hz and solenoid coil); seeds without magnetic exposure were used as control. Germination characteristics were evaluated, including: the percentage of germinated seeds, speed of emergence, mean germination time, vigor index I and vigor index II. The results obtained show that both static and pulsed magnetic fields improve the germination characteristics of INIA 601 purple corn seeds with respect to the control, especially in vigor index II, where a significant difference was found in static magnetic fields, with the best response time being 30 min for both types of magnetic fields and 30 Hz in the case of pulsed magnetic fields. Thus, it is concluded that static and pulsed magnetic fields biostimulate INIA 601 purple corn seeds during the germination process.

**Keywords:** Magnetic biostimulation, germination, seeds, purple corn.



## **CAPITULO I.**

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente se viene dando énfasis en la producción de maíz morado debido a que este producto presenta un alto contenido de antocianinas, las cuales juntos con otros compuestos bioactivos como los polifenoles, son de gran demanda en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (INIA, 2014). En el departamento de Cajamarca entre 2016 y 2019, de 28 cultivares de maíz morado la mayor producción fue de 2,77 t Ha<sup>-1</sup> y mayor concentración de antocianinas en coronta y brácteas correspondió al maíz morado variedad INIA 601 siendo 6,12 y 3,18 mg/100 g de cianidina - 3 - glucosido respectivamente (Medina et al., 2020).

Esta variedad de maíz morado variedad INIA 601, presenta ciertas diferencias respecto al maíz convencional, tales como: alto contenido de antocianinas, calidad de la semilla, mejor capacidad germinativa y vigor de las semillas. Sin embargo, aún persiste el desconocimiento de la aplicación de técnicas y/o tecnologías no invasivas para mejorar las características antes mencionadas.

Uno de los inconvenientes de siembra es lograr una rápida germinación, ya que las empresas agrícolas desean obtener producciones de manera más limpia y rápida. Es por ello que, están en la búsqueda constante de avances tecnológicos para mitigar las restricciones de la germinación. Hoy en día existen diversas tecnologías físicas que permiten estimular a las semillas en la etapa de germinación, entre ellas se encuentra la aplicación de campos magnéticos (Arnesto et al., 2015; Arteaga, 2019; Carbonell et al., 2013). Esta es una tecnología emergente (no invasiva) en constante desarrollo que permite mejorar y potencializar el vigor de las semillas, sin necesidad de usar químicos que afectan los suelos de cultivo y el medio ambiente.

A la fecha, existe limitados estudios de investigación publicados sobre la aplicación de campos magnéticos (bioestimulación) en semillas de maíz morado variedad INIA 601, por lo que, la presente investigación busca como objetivo general evaluar el efecto de campos magnético en las características de germinación de maíz morado variedad INIA 601, como objetivos específicos determinar la humedad y cenizas de las semillas de maíz morado variedad INIA 601; construir prototipos de campos magnéticos estático y pulsado; determinar el efecto de la exposición a campo magnético estático en las características de germinación de maíz morado variedad INIA 601; determinar el efecto de la exposición a campo magnético pulsado en las características de germinación de maíz morado variedad INIA 601.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Aranzazu (2019) analizó el efecto del tratamiento magnético sobre la actividad enzimática en semillas de maíz (*Zea mays* L) en Cartago-Colombia, para ello expuso a las semillas a una densidad de flujo magnético de 100 mT, tiempo entre 55 s y 543 s y volúmenes de agua de imbibición entre 12,2 mL y 23,8 mL. Los parámetros de germinación evaluados fueron el tiempo para la germinación de 50% de las semillas ( $t_{50}$ ), el porcentaje de germinación máxima y la actividad enzimática por espectrofotometría tanto de la  $\alpha$ -amilasa como proteasa, a una longitud de onda 50 nm y 660 nm respectivamente. El efecto del tratamiento magnético (TM) a condiciones de 100 mT, 12,2 mL de agua y 500 s, presenta los mejores resultados con un incremento en el porcentaje germinación máxima ( $G_{max}$ ) del 16%, y una reducción hasta 31% en  $t_{50}$  respecto al control. De la misma forma la actividad enzimática aumentó en la  $\alpha$ -amilasa y proteasa hasta 68 % y 85,81% respectivamente.

Ortiz et al. (2015) en su estudio realizado en Colombia compararon los efectos de la exposición a campos magnéticos, campos eléctricos y electromagnéticos en la germinación y crecimiento de semillas maíz (*Zea Mays* L.) durante 15 días, donde se estudiaron el porcentaje de germinación, dinámica de crecimiento de coleóptilos, acumulación de masa fresca, biomasa seca y contenido de clorofila. Los resultados en las características evaluadas fueron más favorables para los campos electromagnéticos que para algunas de ellas resultaron ser el doble comparado al control, ya para los campos magnéticos y eléctricos se obtuvo una mejoría marginal.

Domínguez et al. (2010) compararon doce tratamientos de campos magnéticos aplicados en semillas de maíz en Texcoco-México, con intensidades de 160 y 560 mT y siete tiempos de exposición (0, 30, 60, 120, 240, 360 y 480 min), en un diseño experimental de bloques completos al azar. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas en la velocidad de emergencia y porcentaje de establecimiento de plántulas al cuarto día, y al día 17 en peso seco. También detectaron bioestimulación positiva con exposición de 30 y 60 min a una intensidad de 560 y 160 mT (dosis de 705,6 y 27,42  $\text{kJ m}^{-3} \text{s}^{-1}$ , respectivamente). Concluyendo que con la dosis de 705,6  $\text{kJ m}^{-3} \text{s}^{-1}$  hubo un incremento significativo de 69,2% en comparación con el testigo en velocidad de emergencia, de 90,95% en establecimiento de plántulas y de 36,6% en peso seco respectivamente.

Carbonell et al. (2013) aplicaron campos magnéticos estacionarios en la germinación de semillas soja (*Glycine max* L.), exponiendo a una intensidad de 125 mT, 250 mT y 300 mT durante diferentes tiempos de exposición (10 min, 20 min, 1 h, 24 h y de forma permanente). Estos autores encontraron diferencias muy significativas, tanto en la velocidad de germinación como en el porcentaje de semillas germinadas, entre las semillas control y las tratadas, resultando el mejor tratamiento la exposición a 300 mT por 20 min. Estos resultados generan la posibilidad para una más efectiva producción vegetal en ciudad de Cali-Colombia.

Dado que el maíz morado INIA 601 es un producto oriundo del Perú, a nivel internacional, nacional y local no hay reportes de la aplicación de campos magnéticos en la germinación de maíz morado, por lo que esta investigación muestra los primeros aportes para este producto, y que servirá de base para optimizar las condiciones de los tratamientos magnéticos, así como ampliar a otras semillas con potencial comercial.

## 2.2 Bases Teóricas- Científicas

### 2.2.1 Origen Maíz Morado

El maíz morado (*Zea mays* L.), derivado de la variedad kculli, es autóctono de los valles interandinos y se destaca por ser el único en el planeta con un intenso tono morado en su grano y en otras partes de la planta (Medina et al., 2020). En la Figura 1 se muestra la planta y el grano de maíz morado.

#### Figura 1

*Planta y el grano de maíz morado.*



*Nota.* Adaptado de Medina et al. (2020).

### 2.2.2 Composición Química del Maíz Morado

La composición química del maíz morada se detalla en la Tabla 1

**Tabla 1**

*Composición química del maíz morado*

Componentes (%)					
Humedad	Proteínas	Grasa	Fibra	Carbohidratos	Autores
11,4	6,7	1,5	1,8	76,9	Castillo (2019)
12,20	9,30	4	1,8	72,7	Quispe et al. (2011)

### 2.2.3 Variedades de Maíz Morado

Las variedades de maíz morado según Requis (2012) son siete:

1. Morado canteño: Apto para cultivo en área de sierra media. Sus flores femeninas se presentan entre 110 y 125 días posteriores a la siembra.
  2. Morado PVM – 581: Recomendado para siembra en regiones de sierra media. Presenta floración femenina en un periodo de 95 a 105 días después de la siembra
  3. Morado PVM – 582: Ideal para cultivar en costa central. Sus flores femeninas aparecen entre 55 y 60 días luego de la siembra.
  4. Morado Arequipeño: Indicado para siembra en zona de sierra media.
  5. Negro de Junín: Apropiado para siembra en la sierra central.
  6. Morado INIA 601: Adecuado para cultivo en áreas de sierra media. Sus flores femeninas se desarrollan entre 90 y 105 días después de la siembra.
  7. Morado INIA 615 - Negro Canaán: Recomendado para siembra en sierra media. Presenta floración femenina en un intervalo de 84 a 93 días después de la siembra.
- Maíz Morado INIA 601 o” INIA Negro”

### 2.2.3.1 Origen.

Fue desarrollado en 1990 en la Subestación Experimental Cajabamba. La población “Negro” se obtuvo mediante la combinación de 256 líneas progenitoras, incluyendo 108 de la variedad morado de Caraz y 148 líneas progenitoras de la variedad local conocida como Negro de Parubamba (INIA, 2014).

En la Figura 2 se muestra el maíz morado variedad INIA 601.

### Figura 2

*Mazorca del maíz morado variedad INIA 601.*



*Nota.* INIA, (2019).

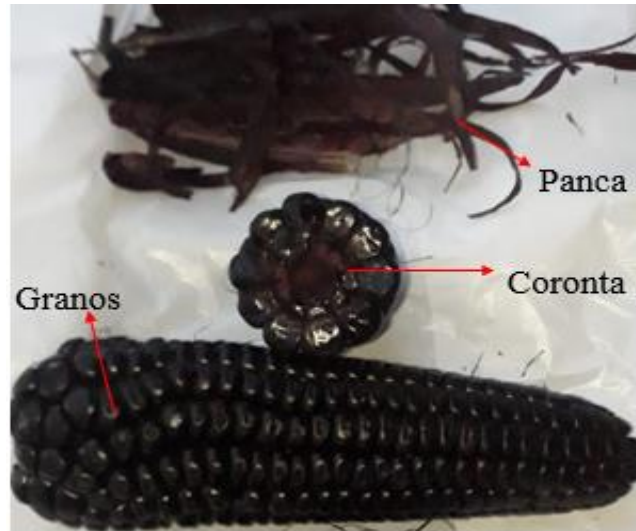
### 2.2.3.2 Características Genéticas.

El maíz morado INIA 601 posee un conjunto de 25 genes que supervisan eficazmente la síntesis de antocianinas, compuestos metabólicos que le confiere su distintivo color. Esto posibilita que no solo los granos contengan propiedades antioxidantes, sino que también la coronta y la panca contengan un 6,43% y 3,03% de antocianinas, respectivamente (INIA, 2019).

En la Figura 3 se muestra panca, granos y coronta de maíz morado INIA 601.

### **Figura 3**

*Panca, granos y coronta de maíz morado variedad INIA 601.*



*Nota.* INIA (2019).

#### **2.2.4 Calidad de la Semilla**

La calidad de una semilla abarca tanto su integridad morfológica como los procesos fisiológicos que mantienen su capacidad de germinación. Entre las características que denotan calidad se encuentran la germinación y el vigor, factores que están influenciados por el genotipo y las prácticas de manejo en la producción y posterior recolección (González et al., 2014).

#### **2.2.5 Germinación de Semillas**

La germinación es el proceso mediante el cual una estructura fundamental se desarrolla a partir del embrión, demostrando la capacidad de la semilla para generar una planta saludable en condiciones ambientales propicias (Chacón, 2018).

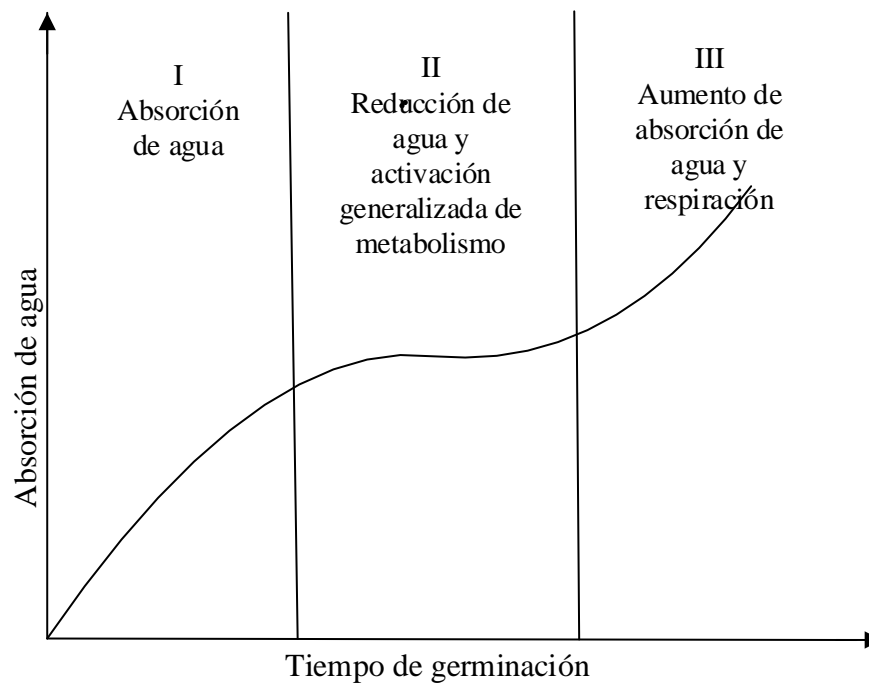


La germinación es el proceso que comienza con la absorción de agua por la semilla en estado seco (imbibición) y culmina cuando una porción de esta atraviesa las capas externas que la rodean (emergencia)(Mantilla, 2016).

El proceso de germinación está compone de tres etapas Garcia et al. (2016) como se visualiza en la Figura 4:

**Figura 4**

*Proceso de germinación de la semilla.*



*Nota.* Adaptado de Aranzazu (2019).

### ***Fase I-Imbibición***

Esta fase marca el comienzo de la entrada de agua en el interior de la semilla. Algunas semillas con un contenido de agua entre el 5% y 10% logran alcanzar un potencial hídrico negativo,

lo que provoca cambios temporales en la permeabilidad de las membranas de las semillas (Aranzazu, 2019).

Esta pérdida pasiva se origina debido a la alteración de los compuestos fosfolípidos presentes en las membranas celulares, los cuales inicialmente se encuentran en una fase de gel y, cuando son expuestos al agua absorbida, pasan a una fase de cristal hidratado. Esta transformación puede ser retardada por la presencia de azúcares y proteínas. Al completarse la fase inicial de imbibición, las membranas celulares recuperan su configuración más estable y disminuye las pérdidas de solutos. No obstante, el mecanismo de reparación de estas membranas aun no se comprende completamente (Aranzazu, 2019).

### **Fase II-Activación del metabolismo, síntesis de proteínas y carbohidratos y degradación de reserva.**

En esta etapa, la absorción de agua disminuye. La impermeabilidad de la envoltura de la semilla conlleva una escasez de oxígeno y la producción de etanol. La ausencia de oxígeno intensifica la síntesis de piruvato, superando la capacidad de utilización por el ciclo de Krebs y la cadena transportadora de electrones, Como consecuencia, el metabolismo se desplaza hacia el ciclo de las pentosas fosfato para generar NADPH, que actúa como donante de poder reductor en la síntesis de ácidos nucleicos y otros procesos de biosíntesis (Aranzazu, 2019).

En esta etapa, se lleva a cabo la síntesis de nuevas estructuras y compuestos esenciales para a la siguiente fase. Por ende, se produce la síntesis de proteínas a través de la utilización de ARNm recién formado, además de la reparación mitocondrial. Esta fase, en sentido estricto, se caracteriza principalmente por ser anabólica y, por ende, endergónica, lo que implica el consumo de energía disponible (Aranzazu, 2019).

Antes de que aparezca la radícula, se observan cambios en la transcripción de genes relacionados con la elongación y división celular. Los genes involucrados en este proceso se activan tempranamente en comparación con la división celular. Las giberelinas juegan un papel crucial al activar ciertos genes que codifican la expresión de proteínas tales como: acuaporinas (facilitadoras de transporte de agua), xiloglucano endotransglucosilasa endotransferasa (que debilita la pared celular mediante hidrólisis), expansinas (que rompen los enlaces de hidrógeno en las paredes celulares) y pectinmetiltransferasa (que modifica la pectina de las paredes celulares)(Aranzazu, 2019).

**Fase III-Desarrollo del embrión y ruptura de la testa a través de la cual se observa la emergencia de radícula y posteriormente la plúmula o tallo.**

La emergencia radicular se refiere al proceso mediante el cual la radícula o eje embrionario atraviesa los tejidos que la rodean, lo que conlleva un cambio de metabolismo desde uno principalmente anaeróbico a otro típicamente aeróbico. Este momento marca la conclusión de la germinación y el inicio del crecimiento de la plántula (Mantilla, 2016).

El crecimiento de la radícula se ve promovido por las giberelinas, que desempeñan un papel en la activación de enzimas hidrolíticas. Estas enzimas debilitan la región del endospermo conocida como micrópilo, facilitando así su emergencia (Aranzazu, 2019).

**2.2.6 Vigor de la Semilla**

El vigor engloba las cualidades de las semillas que influyen en la intensidad de la actividad y la respuesta durante la germinación y el surgimiento de la plántula (Guillen et al., 2018).

El vigor de la semilla posibilita distinguir las disparidades entre la germinación en condiciones controladas y el surgimiento en el campo, un factor de gran relevancia, especialmente cuando las condiciones del terreno pueden generar tensiones para las semillas (García et al., 2016).

De acuerdo a Salinas et al. (2001) los aspectos de comportamiento vinculados al vigor de las semillas influyen en:

- La tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántula.
- Comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas.
- Comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación.

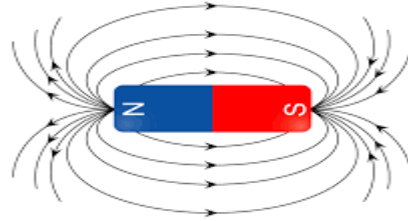
### **2.2.7 Campos Magnéticos**

Puede ser concebido como una fuerza surgida debido a la cantidad de carga que cruza una superficie en un intervalo de tiempo, afectando a cualquier otra carga o corriente dentro de un área influyente. Por lo tanto, la esencia primordial del magnetismo se basa en la interacción entre cargas eléctricas en movimiento (Aranzazu, 2019).

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de campos magnéticos.

## Figura 5

*El comportamiento de campos magnéticos.*



*Nota.* Aranzazu (2019).

### 2.2.7.1 Campos Magnéticos Estáticos.

Se producen cuando la corriente eléctrica es continua, es decir, que fluye siempre en el mismo sentido (Quintos, 2009).

Tienen una intensidad constante y son producidos por imanes permanentes o por el paso de una corriente continua en una bobina o electroimán (Arteaga, 2019).

### 2.2.7.2 Campos Magnéticos Pulsados.

Los campos magnéticos cuya intensidad varía con el tiempo, se denominan campos magnéticos oscilantes y se producen por corriente alterna (Arteaga, 2019).

Si la corriente alterna es rectificadada se puede generar los campos magnéticos pulsados. Estos campos pueden ser generados mediante pulsos cuadrangulares, sinusoidales o triangulares, sin embargo, su polaridad se mantiene constante a lo largo de la duración de los pulsos. (Gomez, 2009).

Una forma de generar campos magnéticos es utilizando bobinas solenoides, Helmholtz, entre otras. Para que el campo sea uniformé en el centro de las bobinas Helmholtz, es necesario que la distancia entre ellas sea igual al radio de las bobinas, y que la corriente eléctrica se mantenga constante a lo largo del tiempo (Osorio, 2013).

También existe la generación de campos magnéticos al utilizar electroimanes que son una combinación de núcleo de hierro con bobinas en diferentes configuraciones geométricas, las que son proyectadas de acuerdo a las necesidades específicas de estudio o investigación.

### **2.3 Marco Conceptual**

**Germinación:** Se refiere al conjunto de cambios metabólicos y morfológicos que convierten al embrión en una plántula con la capacidad de desarrollarse hasta convertirse en una planta adulta (Guillen et al., 2018).

**Campos magnéticos:** es una propiedad física vectorial generada por el flujo de carga a través de una superficie en una unidad de tiempo, y tiene un impacto en cualquier otra carga o corriente dentro de un área de alcance (Aranzazu, 2019).

**Imbibición:** Corresponde al procedimiento mediante el cual la semilla absorbe agua, realizado al sumergir las semillas en soluciones osmóticas o en volúmenes predefinidos de agua durante un periodo específico (Pérez et al, 2016).

**Metabolismo:** Transformaciones químicas que ocurren en una célula u organismos. Estas transformaciones generan la energía y los componentes que las células y los organismos requieren para su desarrollo, reproducción y mantenimiento de la salud. (Avalo & Pérez, 2009).

**Radícula:** representa la primera raíz elemental en el embrión. A partir de esta radícula e desarrollan raíces secundarias y pequeños filamentos que amplían la capacidad de absorción de nutrientes (Sánchez, 2021).

**Hipocótilo:** el espacio entre la radícula y la plúmula se convertirá en tallo de la planta después de la germinación de las semillas (Sánchez, 2021).

**Antioxidantes:** Son sustancias naturales o sintéticas que pueden prevenir o retrasar algunos tipos de daño a las células (Guillen, 2013).

**Vigor de unas semillas:** son aquellas propiedades que comprueban la actividad y el desempeño de la semilla en un amplio rango de ambiente. (ISTA, 2020).

## **CAPÍTULO III.**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Ubicación**

El presente estudio se desarrolló en el Laboratorio del Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo y Laboratorio de Control de Calidad de Productos Agroindustriales del Campus Colpa Hucaris de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, ubicado en el distrito de Chota, provincia de Chota, región Cajamarca.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1 Población**

Se utilizó 8 kg de semillas certificadas de maíz morado variedad INIA 601 (Lote N° GVS – 21 – 01, N° Control 7201GVS21452101) de la Región Cajamarca proveniente por la estación experimental INIA Baños del Inca (Figura 12).

##### **3.2.2 Muestra**

Se procedió a seleccionar semillas certificadas teniendo en cuenta: tamaño uniforme (diámetro mayor  $14,21 \pm 0,18$  mm; diámetro menor  $11,40 \pm 0,65$  mm y espesor  $5,33 \pm 0,26$  mm) e integro para obtener 2 kg de muestra de las cuales se escogió aleatoriamente 24 semillas de maíz morado INIA 601 por cada repetición en cada tratamiento, excediendo en 4 semillas a lo sugerido por Aranzazu (2019).

#### **3.3. Equipos, materiales e insumos**

##### **3.3.1 Equipos**

- Balanza analítica (marca: Adam. Modelo: EAB-224 y país de origen: Estados Unidos/Reinos Unidos).
- Estufa (marca: Binder, modelo: ED 56 y país de origen: Alemania).



- Mufla (marca: NABERTHWEM, modelo: L-031K2RN)
- Vernier (marca: Mitutoyo, modelo: 500-175-20 y país de origen: Estados Unidos/ Reino Unido).
- Prototipos de campos magnéticos estáticos.
- Prototipo de campo magnético pulsado.
- Sistema de visión computacional.

### **3.3.2 *Materiales***

#### **a) *Biológicos***

- Semillas de maíz morado variedad INIA 601.
- Agua destilada.

#### **b) *Materiales de vidrio, plástico y metal***

- Placa Petri 100 \* 15 mm.
- Porta muestras.
- Bandejas de plástico para germinación 41 \* 34 \* 3 cm.
- Papel filtro.
- Tela de algodón color negro.
- Probetas de 100 mL.
- Pulverizador de agua.
- Vasos de precipitación de 250 mL.
- Bisturí.
- Smartphone.

#### **c) *Materiales para la construcción del prototipo de germinador magnético estático***

- Pancha de acrílica.

- Imanes de neodimio
- Esparrago de ¼'', tuercas y arandelas de ¼''.

**d) Materiales para la construcción del prototipo de germinador magnético pulsado**

- Bobina solenoide.
- Controlador de pulsos.
- Fuente regulable de alimentación 0-200 v
- Transformador 220 v/110 v.

### **3.4. Metodología de la investigación**

La presente investigación se llevó a cabo con 264 semillas certificadas de maíz morado variedad INIA 601, las cuales fueron obtenidas de la Estación Experimental Baños del Inca-Cajamarca. Posteriormente fueron aplicadas campos magnéticos estáticos como campos magnéticos pulsados en diversos tiempos de exposición, en que la interacción de las variables independientes será considerada como tratamientos. Para el caso de campos magnéticos estáticos se tuvo 4 tratamientos (incluido el control) y para campos magnéticos pulsados se tuvo 7 tratamientos (incluido el control), como se observa en la Tabla 2 y 3.

**Tabla 2**

*Tratamientos experimentales de campos magnéticos estáticos.*

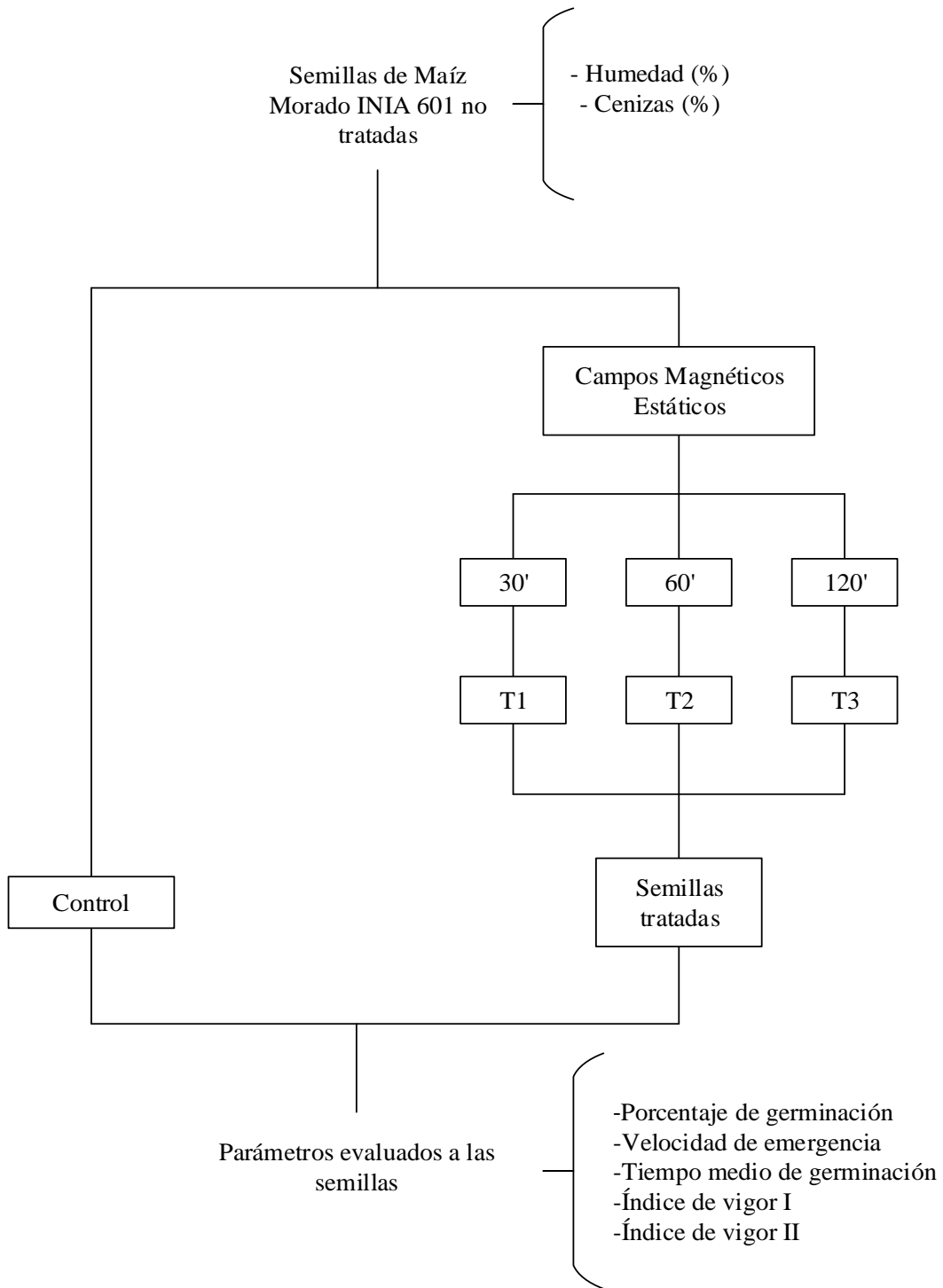
<b>Tratamientos</b>	<b>Campos magnéticos</b>	<b>min</b>	<b>Porcentaje de semillas germinadas</b>	<b>Índice de Vigor I</b>	<b>Índice de Vigor II</b>	<b>Velocidad de germinación</b>	<b>Tiempo medio de germinación</b>
<b>T1</b>	CME	30					
<b>T2</b>	CME	60					
<b>T3</b>	CME	120					
<b>T4</b>	Control						

**Tabla 3***Tratamientos experimentales de campos magnéticos pulsados.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Campos magnéticos</b>	<b>min</b>	<b>Porcentaje de semillas germinadas</b>	<b>Índice de Vigor I</b>	<b>Índice de Vigor II</b>	<b>Velocidad de germinación</b>	<b>Tiempo medio de germinación</b>
<b>T1</b>	CMP-30Hz	30					
<b>T2</b>	CMP-30Hz	60					
<b>T3</b>	CMP-30Hz	120					
<b>T4</b>	CMP-60HZ	30					
<b>T5</b>	CMP-60Hz	60					
<b>T6</b>	CMP-60Hz	120					
<b>T7</b>	Control						

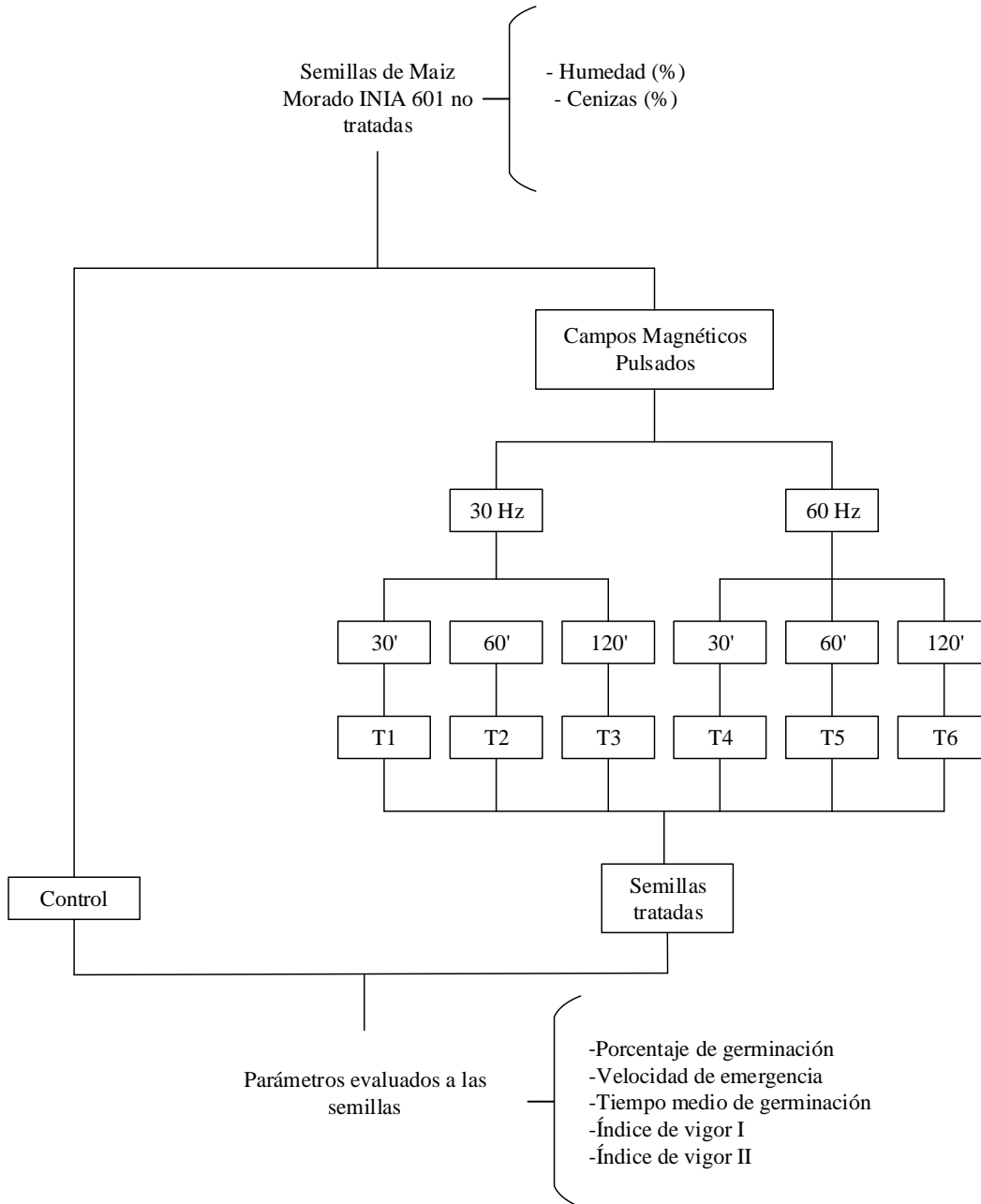
**Figura 6**

*Diagrama experimental para semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*



**Figura 7**

*Diagrama experimental para semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



### 3.4.1 *Determinación de Humedad y Cenizas*

#### **a) Humedad**

El porcentaje de humedad (base humedad), se determinó por secado en estufa (Qamae et al., 2016, Weinberg et al.,2008), para lo cual se pesó 10 g de semillas de maíz morado INIA 601 y se sometió a secado 105 °C por 24 horas y el cálculo se realizó con la Ecuación 1.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(M1-M2)}{M} \times 100 \quad (1)$$

M1= Masa del crisol más muestra húmeda.

M2= Masa del crisol más muestra seca.

M=Masa de la muestra.

#### **b). Cenizas**

El porcentaje de cenizas, se determinó usando la propuesta de Qamar et al. (2016), por lo cual se pesó 2 g y se sometió a 600 °C por 6 horas y el cálculo se realizó con la Ecuación 2.

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{CC-W}{CS-W} \times 100 \quad (2)$$

CC= Masa del crisol más la ceniza (g).

CS= Masa del crisol con la muestra seca (g).

W=Masa del crisol vacío (g).

### **3.4.2 Construcción de Prototipos y Sistema de Visión Computacional**

#### **a) Construcción de un prototipo de germinador magnético estático.**

Se construyó el prototipo de campos magnéticos estáticos (CME) que está conformado por ocho imanes rectangulares (5 x 2,5 x 0,5 cm) de neodimio N42, que fueron ubicados en un soporte de ácido poliláctico (PLA) impreso en 3D. Adicionalmente se construyó un soporte porta muestras de vidrio con 8 divisiones para contener 3 semillas en cada división. La densidad de flujo magnético en este prototipo fue de 40 mT.

#### **b) Construcción de un prototipo de germinador magnético pulsado.**

La construcción se realizó siguiendo la propuesta de Arteaga (2019). El equipo consistió de una bobina de solenoide (en la que al interno fueron colocadas las semillas), un controlador de pulsos (0-200 Hz) y fuente de alimentación (0-65 V), los que permitieron generar campos magnéticos pulsados de 30 y 60 Hz. La densidad de este flujo magnético en este prototipo fue de 8,7 mT.

#### **c) Sistema de visión computacional.**

Se utilizó el sistema de visión computacional propuesto Arteaga (2019), el que permitió la captura de imágenes (\*.jpeg – 3024 x 4032 pixeles) de las semillas de los tratamientos aplicados con campos magnéticos estáticos y pulsados. El procesamiento y análisis de las imágenes se realizaron mediante el software ImageJ que permitió obtener la longitud de la raíz e hipocótilos, asimismo, se midió manualmente con un vernier.



### ***Procedimiento de Germinación de Semillas de Maíz Morado Variedad INIA 601***

Una vez tratadas las semillas de maíz morado variedad INIA 601 con campos magnéticos estáticos y/o campos magnéticos pulsados en los tiempos establecidos; las semillas fueron ordenadas en 2 columnas de 12 semillas en una bandeja plástica para su posterior germinación, seguidamente fueron cubierta con una tela de algodón de color negro y se hidrató con 200 ml de agua destilada mediante aspersión manual sobre la superficie de la tela negra (Día cero -D0); en día 1 (D1), se observó las semillas de maíz morado INIA 601 completamente hidratadas; día 2 (D2), se hidrató con 100 ml agua destilada; día 3 (D3), se observó a las semillas con raíz a más de 1 mm; en el día 4 (D4), las semillas presentaron una raíz más larga que el D3 así como la presencia de tallo; día 5 (D5), se observó las semillas germinadas en su totalidad, con desarrollo de raíz y tallo vigoroso, perteneciente a la etapa III de la germinación.; día 6 (D6), se procedió a medir la longitud del tallo y la raíz, asimismo, se adquirieron las imágenes de las semillas germinadas (Figura 10) de cada uno de los tratamientos, posteriormente se utilizó el software ImageJ para su respectivo análisis. Se cortaron las raíces y tallos de las semillas germinadas, las mismas que fueron colocadas en placas Petri (Figura 11), a continuación, se obtuvieron las masa inicial y final después de haberse llevado a la estufa por 5 horas a 105 °C.

#### ***3.4.3 Características de Germinación de Semillas de Maíz Morado Variedad INIA 601***

##### **a) Número y porcentaje de semillas de maíz morado variedad INIA 601 germinadas.**

Luego de haber aplicado de los tratamientos de bioestimulación magnética en la germinación de las semillas de maíz morado, se realizaron las medidas de las características de germinación, las que comprende el número de semillas (%) germinadas en cada día de germinación, obteniéndose mediante la Ecuación 3. Vale indicar que el criterio para considerar que una semilla esta germinada fue que su radícula sea mayor o igual 1 mm.

$$G_t(\%) = \frac{x_t}{N} \quad (3)$$

Donde:

$G_t(\%)$  = Porcentaje de semillas de maíz morado INIA 601 germinadas en un tiempo (t).

$x_t(\%)$  = Numero de semillas de maíz morado INIA 601 germinadas en un tiempo(t)

$N$  = Numero de semillas de maíz morado INIA 601 en cada muestra (24).

### **b) Velocidad de emergencia.**

La velocidad de emergencia se calculó usando la Ecuación 4 (Pacheco et.al, 2010).

$$VE = \frac{\text{Número de coleoptilos emergidos}}{\text{días al primer conteo}} + \dots + \frac{\text{Número de coleoptilos emergidos}}{\text{días al conteo final}} \quad (4)$$

Donde: VE es velocidad de emergencia.

### **c) Tiempo medio de germinación.**

El tiempo medio de germinación, se determinó usando la propuesta de Maqueda & Martínez (2008) expresada en la Ecuación 5.

$$TMG = \frac{\sum n_i t_i}{\sum n_i} \quad (5)$$

Dónde: TMG es el tiempo medio de germinación,  $t_i$  es el tiempo transcurrido desde el inicio y  $n_i$  el número de semillas germinadas en el intervalo de tiempo  $t_i - t_{i-1}$ .

### **d) Índice de vigor.**

Primeramente, se obtuvieron el % de germinación y la longitud de la plántula, y mediante las Ecuaciones 6 y 7 se logró determinar el índice de vigor I y II.

$$\text{Índice de Vigor I} = \% \text{ Germinación} \times \text{Longitud de la plántula (raíz + tallo) en cm} \quad (6)$$

$$\text{Índice de Vigor II} = \% \text{ Germinación} \times \text{Peso seco de la plántula (raíz + tallo) en g} \quad (7)$$

### **3.5 Análisis estadístico**

Se obtuvieron datos de forma directa por observación. Los datos fueron anotados de forma digital en formatos en Excel (Figura 13), los que estuvieron organizados para anotar tanto las variables independientes como la dependiente, ya sea para la imbibición, monitoreo de germinación, y consolidado. Los datos que fueron obtenidos por el Software ImageJ (Figura 14) fueron exportados a Excel para el cálculo de Índice de Vigor I, complementariamente, fueron registrados las medidas realizadas manualmente, con el fin de verificar la precisión del instrumento computacional.

Los datos obtenidos permitieron calcular estadísticos descriptivos como la media y error estándar y el supuesto de normalidad (Test de Shapiro Wilk). Luego fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de medias por el test de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05, para ello se utilizó el software Statistica 10 (versión demo).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Descripción de resultados

##### 4.1.1 *Determinación de la Humedad y Cenizas de las Semillas de Maíz Morado Variedad INIA 601*

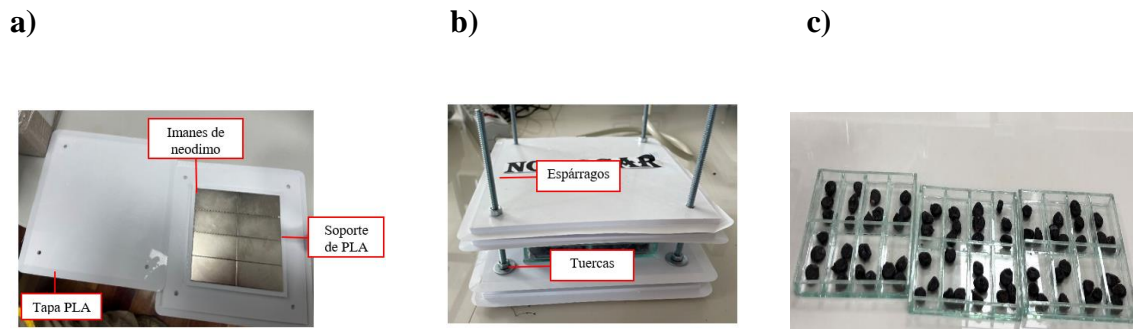
Las características de humedad (b.h) y ceniza de las semillas de maíz morado INIA 601 antes de ser tratadas con campos magnéticos presentaron los valores de  $11,31 \pm 0,09\%$  y  $5,23 \pm 0,91\%$  respectivamente.

##### 4.1.2 *Construcción de Prototipos de Germinador Magnético Estático y Pulsado*

En la Figura 8, a-b-c se muestra el prototipo ensamblado de campos magnéticos estáticos, las dimensiones de este prototipo se describen en el plano del Figura 15. La tapa y la base (porta imanes) fueron impresas mediante una impresora 3D, cuyo filamento de impresión fue PLA de 2 mm. Entre la tapa y base se ha instalado los imanes de neodimio N42 (5 x 2,5 x 0,5 cm), con arreglo de 2 x 4 según su polarización magnética. Se utilizaron espárragos y tuercas (ubicado en cada esquina) para sostener al porta imanes a una distancia de 2 cm.

#### Figura 8

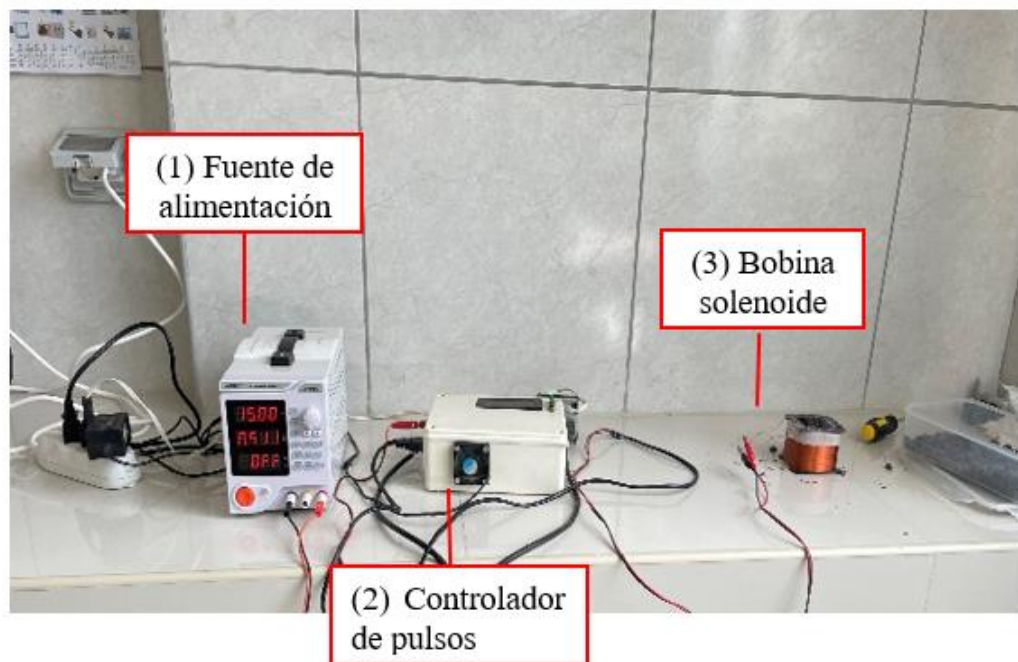
*Prototipo de campos magnéticos estáticos ensamblado.*



En la Figura 9, se muestra el prototipo de campo magnético pulsado, el equipo está conformado en tres partes (fuente de tensión, controlador de pulsos y bobina solenoide) los cuales se conectan y permite generar campos magnéticos pulsados. (1) la fuente de alimentación de tensión continua (0 - 65 V), fue fijada para trabajar con una tensión de 15 V, que alimenta al controlador de pulsos; (2) controlador de pulsos está conformada por una tarjeta electrónica (cuyo circuito se muestra en el Figura 16) en la que se ensamblaron componentes electrónicos (condensadores, resistencias, diodos, pulsadores, tarjeta LCD, puente de rectificación, transformador, regulador de tensión) que fueron controlados por una tarjeta Arduino promini, para generar pulsos de (0-200 Hz) y se fijó para trabajar con 30 y 60 Hz; (3) bobina solenoide que consta 1150 espiras de alambre de cobre AWG22 sobre un carrete de plástico, en cuyo centro se genera los campos magnéticos pulsados.

### Figura 9

*Prototipo de campos magnéticos pulsados.*



#### ***4.1.3 Determinación del Efecto de la Exposición con Campos Magnéticos Estáticos en las Características de Germinación de Maíz Morado Variedad INIA 601***

En la Tabla 4, se muestra los resultados que se obtuvieron al aplicar campos magnéticos estáticos en semillas de maíz morado variedad INIA 601. Las características medidas fueron: porcentaje de semillas germinadas (Gt %), velocidad de emergencia (VE), tiempo medio de germinación (TMG), índice de vigor I (IV-I) e índice de vigor II (IV-II) a los tratamientos (30, 60 y 120 min de exposición a campo magnético estático) y el control, todas con 5 repeticiones.

En el porcentaje de germinación de los tratamientos a 60, 120 min y el control tienen un promedio similar, a diferencia del tratamiento a 30 min de exposición magnética que presenta un ligero incremento; no llegando a ser estadísticamente significativo ( $p>0,05$ ).

En velocidad de emergencia con el tratamiento a 60 min, se observó que tiene menor promedio en referencia a los demás tratamientos, incluido el control. Los tratamientos de 30 y 120 min tienen un promedio similar pero el control tiene un ligero incremento, sin embargo, no existe una diferencia estadística significativa ( $p>0,05$ ).

El tiempo medio de germinación de los tratamientos a 30 y 120 min, se observó que tienen un promedio similar, comparado con el tratamiento de 60 min que tiene un ligero incremento, el control tiene un promedio menor comparado con los tratamientos con campos magnéticos estáticos, que no logran presentar una diferencia estadística significativa ( $p>0,05$ ).

El índice de vigor I (manual) para el tratamiento a 30 min tiene un incremento en comparación con los tratamientos de 60, 120 min y el control. El control tiene el promedio más bajo, sin embargo, no presentan diferencia significativa ( $p>0,05$ ).

El índice de vigor I, obtenido mediante análisis de imagen (ImageJ) presentan datos similares a los obtenidos de manera manual (coeficientes de determinación  $R^2 > 0,986$ , los que se obtuvieron al relacionar los datos obtenidos de manera manual versus los datos obtenidos por el sistema de visión computacional procesados con el software ImageJ, ver Tabla 7). Con lo que, se ha verificado que las medidas realizadas mediante análisis de imagen tienen correspondencia con la medida manual y se convierte en una alternativa tecnológica con mayores ventajas en términos de operatividad, tiempo y costo.

En índice de vigor II, los tratamientos a 30 y 60 min tienen los valores más altos (no presenta diferencias significativas entre ellos), pero se ha observado un incremento del tratamiento de 30 min). Que, de acuerdo a la prueba Tukey logra una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) respecto al control, lo que evidencia el efecto de bioestimulación con el tratamiento de 30 min sobre la vigorosidad de las semillas de maíz morado INIA 601.

**Tabla 4**

*Promedio y error estándar de las variables dependientes que han sido evaluada a las semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Semillas germinadas- Gt (%)</b>	<b>Velocidad de emergencia- VE (semillas/día)</b>	<b>Tiempo medio de germinación- TMG (días)</b>	<b>Índice de vigor I (manual)</b>	<b>Índice de vigor I (ImageJ)</b>	<b>Índice de vigor II</b>
<b>Control</b>	88,33% ± 1,56% <sup>a</sup>	16,01 ± 0,64 <sup>a</sup>	3,52 ± 0,08 <sup>a</sup>	5,73 ± 0,93 <sup>a</sup>	5,49 ± 0,92 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,04 <sup>b</sup>
<b>CME-30min</b>	90,00% ± 4,86% <sup>a</sup>	15,52 ± 0,59 <sup>a</sup>	3,70 ± 0,08 <sup>a</sup>	7,51 ± 1,10 <sup>a</sup>	7,09 ± 1,14 <sup>a</sup>	0,36 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>CME-60min</b>	88,33% ± 1,56% <sup>a</sup>	15,31 ± 0,65 <sup>a</sup>	3,74 ± 0,08 <sup>a</sup>	6,09 ± 0,92 <sup>a</sup>	5,89 ± 0,87 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,01 <sup>a,b</sup>
<b>CME-120min</b>	88,33% ± 5,65% <sup>a</sup>	15,55 ± 1,18 <sup>a</sup>	3,68 ± 0,11 <sup>a</sup>	6,96 ± 1,11 <sup>a</sup>	6,70 ± 1,09 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,03 <sup>a,b</sup>

*Nota.* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) de acuerdo a Tukey (Velocidad de emergencia, tiempo medio de germinación, Índice de vigor I (manual) y Índice de vigor I (ImageJ) o Kruskal Wallis (Semillas germinadas e Índice de vigor II).



En el porcentaje de germinación obtenido fue del 90% de semillas germinadas cuando se expuso a 30 min de tratamiento, el que fue ligeramente superior a los tratamientos control, 60 y 120 min en alrededor del 2%. Este incremento es inferior a lo reportado por Bezerra et al. (2023) quienes obtuvieron a 2 mT y 5 días de exposición de campo magnético de semillas de *Calotropis* un incremento del 10% respecto al control. Sin embargo, el incremento obtenido en esta investigación tiene la ventaja de utilizar menor tiempo de tratamiento. Con estos resultados se evidencia que los campos magnéticos estáticos a condiciones específicas, que depende del producto, incrementan el porcentaje de germinación lo que es atribuido al estrés generado por la exposición a campos magnéticos (Wang et al., 2006), y el incremento de proteínas asociadas al metabolismo celular (Bezerra et al., 2023).

En la velocidad de emergencia se obtuvo que el tratamiento control con 16,01 semillas/día es superior a los tratamientos de 30, 60 y 120 min en un alrededor de las 0,46 semillas día. En lo reportado por Domínguez et al. (2010), trataron semillas de maíz con campos magnéticos estáticos 560 mT con exposición de 30 min obteniendo una velocidad de emergencia de 1,10 plántulas/día superior al comparar con el tratamiento control 0,40 plántula/día. Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de ser una misma especie, las variedades tienen sus propias particularidades en respuesta a los tratamientos magnéticos, por lo que, cuando se aplica la estimulación magnética se deben tener en cuenta las condiciones específicas de las semillas y las características de la fuente de radiación electromagnética para producir un efecto de bioestimulación (Domínguez et al, 2010).

En el tiempo medio de germinación se obtuvo que el tratamiento control con 3,52 días es superior a los demás tratamientos en alrededor de 0,16 días. Al respecto Torres et al. (2015) trataron semillas de soja con intensidad (125 y 300 mT) y tiempos de exposición (10, 20 y 60 min), evidenciando que el tratamiento de 300 mT por 10 min obtuvo un tiempo medio de germinación

de 2,10 días mostrando una diferencia significativa comparado con el control de 0,45 días, estos resultados obtenidos permiten inferir que las interacciones de campos magnéticos estáticos activan los mecanismos que desencadenan respuestas biológicas en las semillas soja. En el caso de semillas de maíz morado variedad INIA 601 se evidencia que para el tiempo medio de germinación no se tiene diferencia significativa sugiriendo que para este caso los campos magnéticos estáticos no impactan en el tiempo medio de germinación.

En el índice de vigor se obtuvo que en el tratamiento de 30 min el índice de vigor I con 7,51 cm es superior al tratamiento control y los demás tratamientos magnéticos en alrededor 1,78 cm; asimismo, el índice de vigor II con 0,36 g es superior al tratamiento control y los demás tratamientos magnéticos en alrededor de 0,13 g. En lo reportado por Vashisth & Nagarajan (2010) trataron semillas de girasol, lo cual obtuvieron que índice de vigor I a tratamiento de 50 mT por 2 h fue 17,8 cm; índice de vigor II a tratamiento de 200 mT por 2 h fue 0,576 g valores con superioridad significativa al control y los demás tratamientos, los resultados que concuerdan con esta investigación, en la que se obtuvo diferencia significativa para el índice de vigor II, con la ventaja que se obtuvo a menor densidad de flujo magnético y menor tiempo. En el índice de vigor I la diferencia fue solo marginal no significativa. Esto sugiere que debe haber una combinación adecuada de campos magnéticos estático y tiempo de exposición para que la energía interna de la semilla responda de manera positiva (Bhatnagar & Deb,1997).

Las observaciones reportadas por Iqbal et al. (2016) en semillas de melón tratadas magnéticamente, a una inducción de 200 y 100 mT por 20 min, presentaron efecto significativo en el índice de vigor I de 997 y índice de vigor II es 2497,8. Asimismo, una inducción magnética con 75 mT por 30 min empleado en semillas de calabaza amarga persigue el mismo fenómeno que en las semillas de melón, obteniendo valores significativos en referencia al control, índice de vigor I

de 1873 y índice de vigor II de 1676 (Iqbal et al., 2015). Ante ello, podemos observar que la inducción magnética y el tiempo de exposición en el proceso de germinación de diferentes semillas pueden variar de acuerdo a factores fisiológicos, composición química, temperatura y humedad, las mismas que pueden activar (acelerar) mecanismos bioquímicos y/o enzimáticos, además, de la posibilidad de mejorar la transitabilidad de especies químicas y agua entre los medios intra y extra celular causado por las líneas de fuerza generada por el campo magnéticos. En este estudio realizado con semilla de maíz morado variedad INIA 601 con una densidad de flujo magnético de 40 mT por 30 min ha presentado únicamente diferencia significativa en el índice de vigor II, con 0,36 g.

#### ***4.1.4 Determinación del Efecto de la Exposición con Campos Magnéticos Pulsados en las Características de Germinación de Maíz Morado Variedad INIA 601.***

En la Tabla 5, se muestra los resultados obtenidos al bioestimular las semillas de maíz morado variedad INIA 601 con campos magnéticos pulsados a 30 Hz y 60 Hz. La aplicación de campos magnéticos pulsados a una exposición de 30 min a 30 Hz se ha logrado obtener el 93,33% de semillas germinadas por encima del control el que presenta un valor de 88,33%, asimismo, los tratamientos con exposición de 60 y 120 min presentan un ligero incremento respecto al control, siendo 89,7% y 90,0% respectivamente.

Respecto al tratamiento magnético pulsados a 60 Hz con una exposición de 120 min ha presento un 90% de germinación de las semillas de maíz morado variedad INIA 601 que es superior al control y a los tratamientos con exposiciones de 30 y 60 min cuyos valores son 88,33%, 86,67% y 89,17% respectivamente. Valores que no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos y control.

La bioestimulación magnética con campos magnéticos pulsados a 60 Hz con una exposición de 60 min ha logrado obtener un incremento en velocidad de emergencia por encima del control y de los tratamientos a 30 y 120 min. Sin embargo, el tratamiento magnético pulsado a 30 Hz con 30 min ha presentado la mayor velocidad de emergencia comparado con los demás tratamientos incluido el control. A pesar de ello, se observa que no existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos y el control.

Se observa en el tiempo medio de germinación la bioestimulación con campos magnéticos pulsados a 60 Hz con exposición a 30, 60 y 120 min son inferiores al control; sin embargo, el tratamiento magnético pulsado a 30 Hz con 30 min presenta menor tiempo medio de germinación comparado a los demás tratamientos. Aun así, los tratamientos no presentan diferencia significativa ( $p > 0,05$ ).

En el índice de vigor I (manual) se observa que la bioestimulación con campos magnéticos pulsados a 60 Hz a exposición de 120 min tiene un ligero incremento por encima del control y de los tratamientos a 30 y 60 min. Sin embargo, un mayor incremento respecto al control es el que presenta los campos magnéticos pulsados a 30 Hz con exposición de 30 min. En general para el índice de vigor I los tratamientos a 30 Hz son superiores a los tratamientos de 60 Hz; sin embargo, no llega a tener diferencia significativa.

Índice de vigor I (ImageJ), tiene los datos similares al manual (verificándose que las medidas realizadas tanto con ImageJ y manual tienen una relación directa con un coeficiente de determinación  $R^2 > 0,9636$  indicando la herramienta computacional ImageJ es confiable para determinar este índice).

Índice de vigor II, se observa la bioestimulación de campos magnéticos pulsados a 30 Hz con exposición a 120 min tiene el mayor valor comparado con los demás tratamientos ( $p>0,05$ ). Se evidencia que el los tratamientos a 60 Hz hay un ligero incremento en el índice de vigor II conforme incrementa el tiempo de exposición de 30 a 120 min; caso contrario ocurre con los tratamientos a 30 Hz los que disminuyen al incrementar el tiempo de tratamiento, lo que sugiere que la frecuencia es un factor importante a sincronizar en la bioestimulación de semillas de maíz morado variedad INIA 601.

**Tabla 5**

*Promedio y error estándar de las variables dependientes que han sido evaluada a las semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*

<b>Tratamientos</b>	<b>Porcentaje de semillas germinadas- Gt (%)</b>	<b>Velocidad de emergencia- VE (semillas/día)</b>	<b>Tiempo medio de germinación- TMG (días)</b>	<b>Índice de vigor I (manual)</b>	<b>Índice de vigor I (ImageJ)</b>	<b>Índice de vigor II</b>
<b>Control</b>	88,33% ± 1,56% <sup>a</sup>	16,01 ± 0,64 <sup>a</sup>	3,52 ± 0,08 <sup>a</sup>	5,73 ± 0,93 <sup>a</sup>	5,49 ± 0,92 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,04 <sup>a</sup>
<b>CMP-60Hz-30min</b>	86,67% ± 5,49% <sup>a</sup>	16,54 ± 1,79 <sup>a</sup>	3,50 ± 0,14 <sup>a</sup>	5,64 ± 1,26 <sup>a</sup>	5,43 ± 1,22 <sup>a</sup>	0,23 ± 0,05 <sup>a</sup>
<b>CMP-60Hz-60min</b>	89,17% ± 4,68% <sup>a</sup>	17,46 ± 1,56 <sup>a</sup>	3,43 ± 0,12 <sup>a</sup>	5,85 ± 1,15 <sup>a</sup>	5,66 ± 1,17 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,05 <sup>a</sup>
<b>CMP-60Hz-120min</b>	90,00% ± 2,83% <sup>a</sup>	17,20 ± 1,40 <sup>a</sup>	3,47 ± 0,16 <sup>a</sup>	6,05 ± 1,27 <sup>a</sup>	5,82 ± 1,25 <sup>a</sup>	0,43 ± 0,15 <sup>a</sup>
<b>CMP-30Hz-30min</b>	93,33% ± 2,12% <sup>a</sup>	19,06 ± 0,95 <sup>a</sup>	3,25 ± 0,08 <sup>a</sup>	8,59 ± 0,88 <sup>a</sup>	8,27 ± 0,88 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,04 <sup>a</sup>
<b>CMP-30Hz-60min</b>	87,50% ± 3,95% <sup>a</sup>	16,36 ± 2,23 <sup>a</sup>	3,51 ± 0,28 <sup>a</sup>	6,69 ± 0,84 <sup>a</sup>	6,40 ± 0,82 <sup>a</sup>	0,31 ± 0,03 <sup>a</sup>
<b>CMP-30Hz-120min</b>	88,33% ± 3,33% <sup>a</sup>	15,74 ± 1,70 <sup>a</sup>	3,70 ± 0,19 <sup>a</sup>	6,19 ± 0,59 <sup>a</sup>	5,97 ± 0,61 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,03 <sup>a</sup>

*Nota.* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) de acuerdo

a Kruskal Walli

En el porcentaje de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 se obtuvo con campos magnéticos pulsados a 30 Hz con exposición de 30 min un 93,33% de germinación, siendo superior al tratamiento control y los demás tratamientos magnéticos en alrededor del 10 %. En lo reportado por Isaac et al. (2020) semillas de habichuelas imbibidas durante 24 h con posterior aplicación de campos electromagnéticos de 60 Hz a 2 mT y 9 min de exposición obtuvieron un 85 % de germinación que fue superior a los demás tratamientos en alrededor del 13%; lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación. Sin embargo, las condiciones aplicadas fueron diferentes al ser una menor frecuencia (30 Hz) con mayor densidad de flujo magnético (8,7 mT), lo que evidencia que cada producto tiene condiciones específicas de tratamiento magnético para ser bioestimuladas. Hsiung y Ran (2018) manifiestan que la exposición de semillas a campos electromagnéticos con frecuencias extremadamente bajas provoca que los canales y poros de las membranas celulares permanezcan abiertos por más tiempo y se produce un incremento en la absorción de nutrientes en el metabolismo celular, también puede incidir en la degradación de sustancias orgánicas y el aumento en tasa de respiración en las semillas.

En la velocidad de emergencia de las semillas de maíz morado INIA 601 se obtuvo con campos magnéticos pulsados a 30 Hz con exposición de 30 min 19,06 semillas/día siendo superior al tratamiento control alrededor de las 3,05 semillas/día y los demás tratamientos. Konefal et al. (2018) trataron semillas de rábano con intensidad de 6 mT a una frecuencia de 50 Hz a exposición de 3 min donde la velocidad emergencia fue 13 semillas/día, el índice de vigor I fue 5300 mm siendo superiores al control, pero no significativo, lo que concuerda con esta investigación. En lo reportado por De Souza et al. (2010) estimularon semillas de tomate a intensidad de 200 mT a una frecuencia de 60 Hz a exposición de 1 min donde la velocidad de emergencia fue de 84,5 semillas/día, con diferencia significativa al comparar con el control. Esto se debe a que trabajaron

con mayor densidad de flujo magnético al comparar con esta investigación que se trabajó con 8,7 mT, por lo cual el campo magnético es probablemente responsable de una mejor activación de respiración y del metabolismo energético en la germinación de semillas a condiciones específicas.



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La humedad de semillas de maíz morado variedad INI 601 fue de  $11,31 \pm 0,09\%$  y el contenido de ceniza  $5,23 \pm 0,91\%$ .
- El prototipo de campos magnético estático estuvo conformado de ocho imanes rectangulares ( $5 \times 2,5 \times 0,5$  cm) de neodimio N42, que produjeron una densidad de flujo magnético de 40 mT, y el prototipo de campos magnéticos pulsado conformado por tres partes: fuente de alimentación, controlador de pulsos y bobina solenoide que genera campos magnéticos pulsados a una densidad de flujo magnético de 8,7 mT cuando la tensión de alimentación es de 15 V y las frecuencias de trabajo de 30 y 60 Hz.
- El efecto del tratamiento magnético estático en las semillas de maíz morado variedad INIA 601 a una densidad de flujo magnético de 40 mT y ha exposición de 30 min generó diferencia estadística en el índice de vigor II respecto a los demás tratamientos y el control, y una diferencia marginal entre los tratamientos incluido el control en % de germinación, velocidad de emergencia, tiempo medio de germinación y índice de vigor I.
- El efecto del tratamiento magnético pulsado en las semillas de maíz morado variedad INIA 601 a una densidad de flujo magnético de 8,7mT; frecuencias de 30 y 60 Hz y tiempos de exposición de 30, 60 y 120 min, no presentaron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en el% de germinación, velocidad de emergencia, tiempo medio de germinación, índice de vigor I y II.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar investigaciones que permitan para comparar las características de germinación de semillas de maíz morado INIA 601 al aplicar campos magnéticos estáticos y pulsados antes, durante o después de la hidratación.
- Optimizar el proceso de germinación de maíz morado variedad INIA 601 al variar densidades de flujo magnético, frecuencias y tiempos de exposición.
- Evaluar condiciones de fotoperiodo combinado con campos magnéticos estáticos y pulsados en las características de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aranzazu, J. (2019). *Análisis del efecto del tratamiento magnético sobre la actividad enzimática en semillas de maíz (Zea mays L.)*. [ Tesis de Maestria, Universidad Nacional de Colombia].
- Arnesto, A., Angarita, W., & Lobo, R. (2015). Efectos de la radiación electromagnética sobre la germinación de maíz. *Tecnura*. 19(45), 65–73.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a05>
- Arteaga, H. (2019). *Efeito dos campos magnéticos pulsados no congelamento de alimentos: aprimoramento da técnica e sua aplicação em Mirtilo*. [ Tesis de doctorado, Universidade de São Paulo]
- Ávalos, A., & Pérez, E. (2009). Metabolismos secundario de plantas. *Hidrobiologica*.
- Bezerra, E., Carvalho, C., Costa, R., Silva, A., Alam, M., Sales, M., Dias, N., Gonçalves, J., Freitas, C., & Ramos, M. (2023). Static magnetic field promotes faster germination and increases germination rate of Calotropis procera seeds stimulating cellular metabolism. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102650>
- Bhatnagar D., y Deb AR. (1997). Some effect of pre-germination exposure of wheat seeds to magnetic fields: effect on some physiological process. *Seed Res*.
- Carbonell, M., Martinez, E., & Florez, M. (2013). Tratamiento Magnético Como Técnica Estimulante De La Germinación De Semillas De Soja. *Revista Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 12, 119–127.
- Castillo, R. (2019). *Selección por intensidad de color en corontas del maíz morado (Zea mays L.)*

- variedad INIA 601 en el distrito de Monsefú. 126.* [ Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo-Lambayeque]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/8304>
- Chacón, M. (2018). *Pruebas de Vigor en Semillas de Maíz (Zea mays L.)*. [ Tesis de pregrado, Universidad Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/882/K10-D65-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- De Souza, A., Sueiro, L., Garcia, D., & Porras, E. (2010). Extremely low frequency non-uniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth. *Seed Sci. & Technol.*
- Domínguez, A., Hernández, C., Cruz, A., Carballo, A., Zepeda, R., & Martínez, E. M. (2010). Semilla de maíz bajo la influencia de irradiación de campos electromagnéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 183–188. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.2.183>
- García, J., Ruiz, N., Lira, R., Vera, I., & Méndez, B. (2016). Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas. *Centro de Investigación En Iquímica Aplicada (CIBQ)*, 129–140.
- Gomez, I. (2009). *Efectos De Los Campos Electromagnéticos Pulsados (Pemf) En El Cultivo De Las Stem Cells Circulantes*. [Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza].
- González, F., León, D., Borges, L., Pinzón, L., Magaña, M., Sangines, R., & Urrestarazu, M. (2014). Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1487–1493. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263131168014.pdf>

- Guillen, G.(2013). Revalorización de estigmas maiz negro millo corvo. *Universidad Autónoma de Madrid*
- Guillen, P., Velázquez, R., De la Cruz, E., Márquez, C., & Osorio, R. (2018). *Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maiz con diferente proporción de endospermo vítreo*. Scielo. <https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v34n2/0719-3890-chjaasc-00304.pdf>
- Hsiung, H., & Ran, S.(2008). The effects of inverter magnetic fields on early seed germination of mung beans. *Bio Electro Magnetism*.
- INIA. (2014). Maíz morado INIA 601 : Variedad de maíz morado para la sierra norte del Perú. *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/65>
- INIA.(2019). Maiz mora INIA 601 posee mayores propiedades de antioxidantes. *Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA*.
- Iqbal, M., Haq, Z., Malik., A., Muhammad, C., Jamil, Y., & Nisar. J. (2015). Pre-sowing seed magnetic field stimulation: A good option to enhance bitter melon germination, seedling growth and yield characteristics. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2015.12.002> 1878-8181.
- Iqbal, I., Haq, Z., Jamil, Y., & Nisar, J. (2016). Pre-sowing seed magnetic field treatment influence on germination, seedling growth and enzymatic activities of melon (*Cucumis melo L.*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2016.04.001> 1878-8181/
- Isaac, E., Barrera, L., Fung, Y., & Ferrera, A.(2020). Efecto del tratamiento electromagnético de

frecuencia extremadamente baja en el proceso de germinación de habichuela (*Vigna unguiculata* L.). *Centro Agrícola*, 47(3), 51-58.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S025357852020000300051&lng=es  
&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852020000300051&lng=es&tlng=es)

ISTA (International Seed Testing Association). (2020). International rules for seed testing. Rules 2020. ISTA, Bassersdorf, CH- Switzerland.

Konefal, M., Banas, A., Bester, M., Bacalk, D., Budzik, S., Gorny, S., Larsen, S., Majchrowski, K., & Cholewa, M. (2018). The Effect of Stationary and Variable Electromagnetic Fields on the Germination and Early Growth of Radish (*Raphanus sativus*). *Pol. J. Environ. Stud.*

Mantilla, A. J. (2016). Desarrollo y germinación de las semillas. *Researchgate*.  
<https://www.researchgate.net/publication/271512205%0ADesarrollo>

Maqueda, R., & Martínez, E. (2008). Efecto de la exposición a campos magnéticos estacionarios de 125 mT y 250 mT en la germinación de semillas de guisantes. *I Congreso de Estudiantes Universitarios de Ciencia, Tecnología e Ingeniería Agronómica*

Medina, A., Narro, L., Chávez, & Alexander. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona alltoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291–299.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>

Ortiz, J., Suárez, D., Puentes, A. E., Velásquez, P. E., & Santis, A. M. (2015). Comparison of the effects in the germination and growth of corn seeds (*Zea mays* L.) by exposure to magnetic, electrical and electromagnetic fields. *Chemical Engineering Transactions*, 43, 169–174.

<https://doi.org/10.3303/CET1543029>

Osorio, F. C. A. (2013). Diseño de un microsistema para generar campo electromagnético terapéutico usando psoc.

Pacheco, A., Hernández, C., Cruz, A., Carballo, A., Zepeda, R., & Martínez, E. (2010). Semillas de maíz bajo influencia de irradiación de campo electromagnético. *Rev. Fitotec. Me*

Pérez, C., Carrillo, G., Vidal, E., Ortiz, E. (2016). Efecto de la imbibición en la calidad fisiológica de semillas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencia Agrícola. Vol. 7*

Qamar, S., Aslam, M., & Javed, M. A. (2016). Determination of Proximate Chemical Composition and Detection of Inorganic Nutrients in Maize (*Zea mays L.*). *Materials Today: Proceedings*, 3(2), 715-718. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.01.118>

Quintos, I. (2009). *Mitigacion de los efectos sobre la salud de Campos Electromagnéticos producido por redes electricas*. [ Tesis de pregrado,Universidad Nacional del Centro de Perú].

Quispe, F., Arroyo, K., & Garrit, A.(2011). Características Morfológicas y Químicas de 3 Cultivares Maíz Morado (*Zea mays L.*) en Arequipa-Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*.

Requis, F. (2012). Manejo Agronómico Del Maíz Morado En Los Valles Interandinos Del Perú. *Instituto Nacional De Innovación Agraria - Iniadirección De Investigación Agrariadirección De Extensión Agrariaestación Experimental Agraria Canaán - Ayacucho*, 25. <file:///C:/Users/Angie/Downloads/313908946-Manejo-Integrado-de-Cultivo-de-Maiz-Morado-Inia.pdf>

Sánchez. (2021). Partes de las semillas y sus funciones. *Ecologiaverde*.

Salinas, A., Yoldjian, A., Craviotto, R., & Bisaro, V. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(2), 371-379.  
<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2001000200022>

Torres, J., Aranzazu, M., & Carbonell, M. (2015). Efecto de campos magnéticos estáticos homogéneo en la germinación y absorción de agua en semillas de soja. *Tecno Lógicas*.

Vashisth, A., & Nagarajan. (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology* <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.08.011>.

Wang, B., Zhou, J., Whang, &, Zhu, L., y Teixeira da Silva. (2006). Physical stress and plant growth, in: Teixeira da Silva JA,3.Floriculture, ornamental and plant biotechnology: advances and topical issues.

Weinberg, Z. , Yan, Y., Chen, Y., Finkelman, S., Ashbell, G., & Navarro, S. (2008). The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions-in vitro studies. *Journal of Stored Products Research*, 44(2), 136-144.  
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2007.08.006>

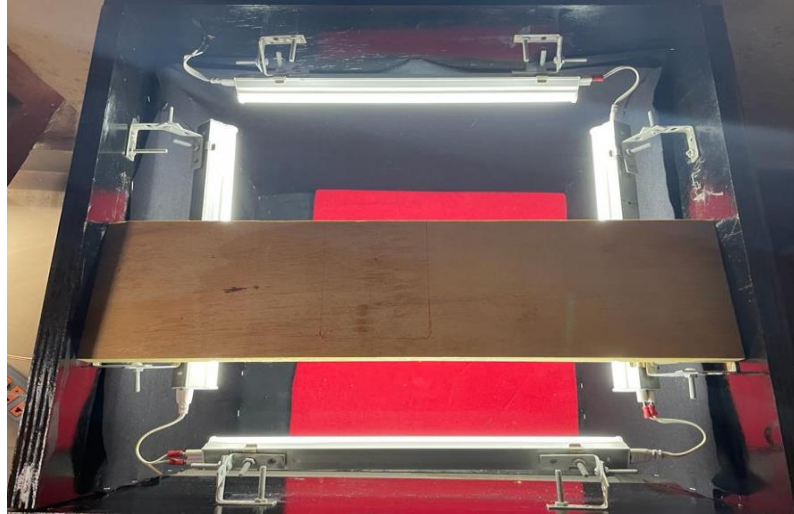


## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

**Figura 10**

*Sistema de visión computacional.*



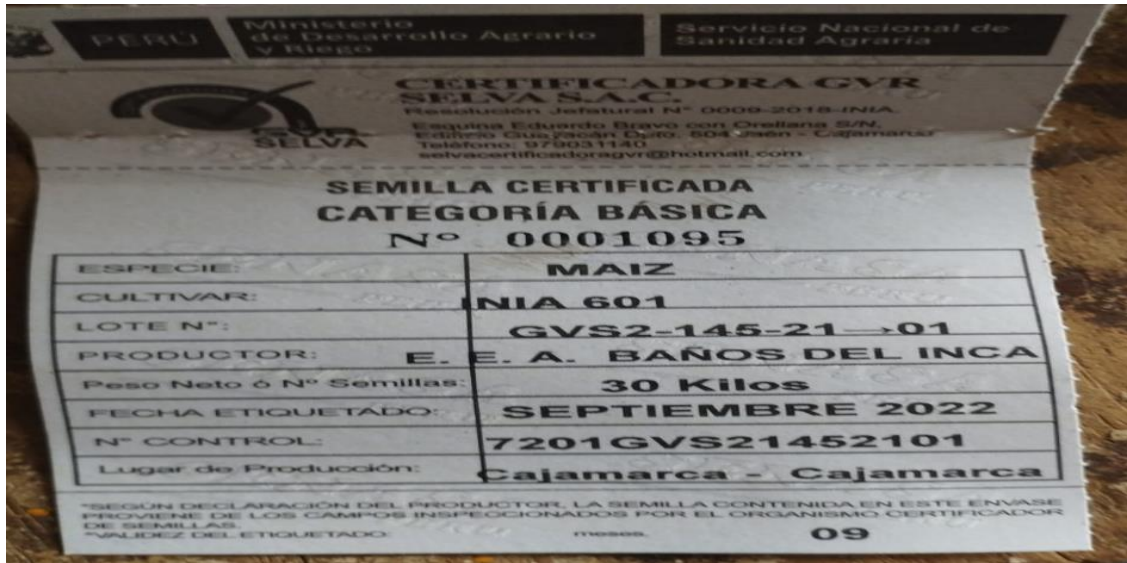
**Figura 11**

*Placas con raíz e hipocótilo cortado.*



**Figura 12**

*Semillas certificadas de maíz morado variedad INIA 601.*



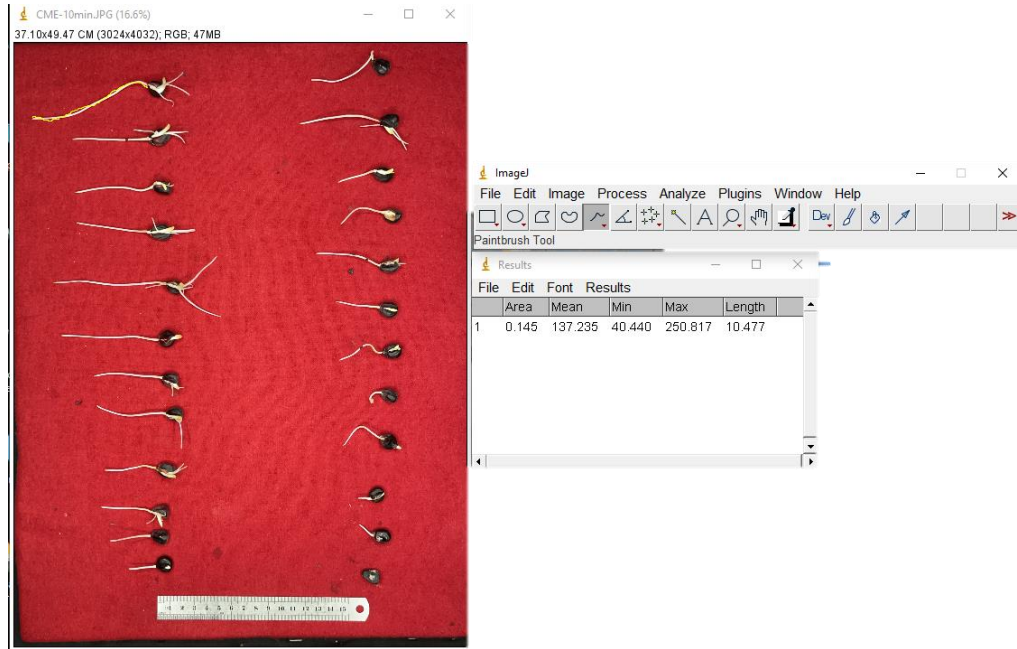
**Figura 13**

*Formato Excel donde fue registrado los datos de semillas de maíz morado variedad INIA 601 germinadas.*

N°	Tratamientos	N° semillas	WSMMIn (g)	WSMMdimb (g)	Agua ganada en imb(g)	D6											
						WTR(g)	WTH(g)	TtRS	LR(cm)I	LR(cm)	LH(cm)I	LH(cm)	LR-m(cm)I	LR-m(cm)	LH-m(cm)I	LH-m(cm)	
110	T5-Control				0				5	6.12	6.5	2.05	3				
111	T5-Control				0			3	7.96	8	2.01	2					
112	T5-Control				0			4	7.02	7.8	1.83	2					
113	T5-Control				0			5	5.28	0	0.17	0	6.975416667	7.020833	1.506666667	1.704167	
114	T5-Control				0			0	0	0	0	0					
115	T5-Control				0			2	5.74	5.9	1.7	1.7					
116	T5-Control				0			5	7.11	7.4	1.28	2					
117	T5-Control				0			4	7.55	7.6	1.4	1.4					
118	T5-Control				0			0	9.62	9.7	3.54	3.6					
119	T5-Control				0			7	8.47	9	2.05	2.5					
120	T5-Control				0				0	0	0	0					

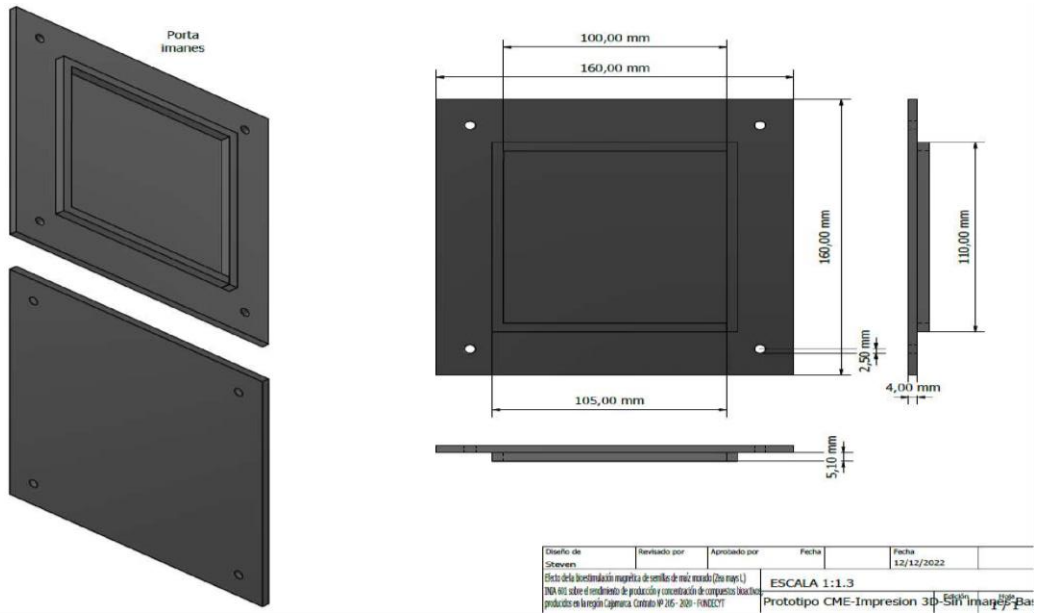
**Figura 14**

*Medición de la longitud de raíz e hipocótilo en el software ImageJ.*



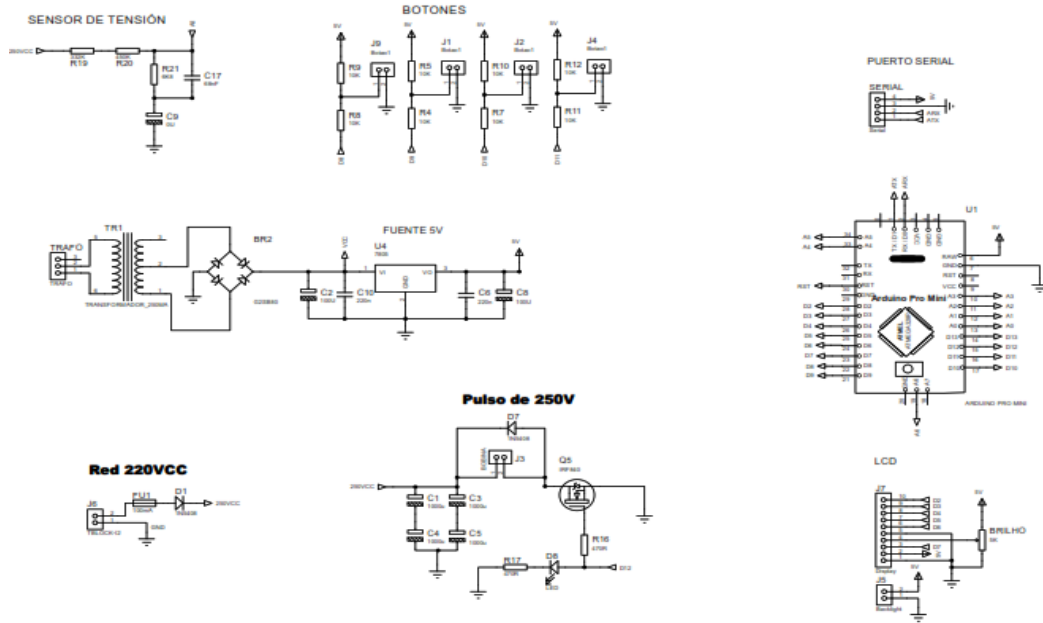
**Figura 15**

*Dimensiones de la tapa y soporte impreso en 3D.*



**Figura 16**

*Circuito de control de campos magnéticos pulsados.*



**Tabla 6**

*Coeficiente de determinación de medición de longitud manual y con ImageJ de campos de los tratamientos con campos magnéticos pulsados y estáticos.*

- a) Coeficiente de determinación de medición de longitud manual y con ImageJ de campos de los tratamientos con campos magnéticos pulsados.

<b>Tratamiento</b>	<b>Repetición</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>CMP-60Hz-30 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9949x - 0,0519$	$R^2 = 0,9971$
	<b>2</b>	$y = 1,0156x - 0,239$	$R^2 = 0,9851$
	<b>3</b>	$y = 0,9938x - 0,2046$	$R^2 = 0,9977$
	<b>4</b>	$y = 0,999x - 0,0959$	$R^2 = 0,9971$
	<b>5</b>	$y = 0,9894x - 0,065$	$R^2 = 0,9984$
<b>CMP-60Hz-60 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9773x - 0,146$	$R^2 = 0,9688$
	<b>2</b>	$y = 1,0209x - 0,2844$	$R^2 = 0,978$
	<b>3</b>	$y = 0,9895x - 0,1554$	$R^2 = 0,9943$
	<b>4</b>	$y = 0,988x - 0,0569$	$R^2 = 0,9968$
	<b>5</b>	$y = 0,9696x - 0,0818$	$R^2 = 0,997$
<b>CMP-60Hz-120 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9835x - 0,1197$	$R^2 = 0,9897$
	<b>2</b>	$y = 0,9892x - 0,1616$	$R^2 = 0,9875$
	<b>3</b>	$y = 0,9997x - 0,0946$	$R^2 = 0,997$
	<b>4</b>	$y = 0,9813x - 0,0967$	$R^2 = 0,9969$
	<b>5</b>	$y = 0,9597x + 0,0119$	$R^2 = 0,9972$
<b>CMP-30Hz-30 min</b>	<b>1</b>	$y = 1,021x - 0,3734$	$R^2 = 0,9978$
	<b>2</b>	$y = 0,9932x - 0,0974$	$R^2 = 0,9992$
	<b>3</b>	$y = 0,9789x - 0,1225$	$R^2 = 0,9944$
	<b>4</b>	$y = 1,0004x - 0,2307$	$R^2 = 0,9908$
	<b>5</b>	$y = 0,9922x - 0,2525$	$R^2 = 0,9889$
<b>CMP-30Hz-60 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9812x - 0,0411$	$R^2 = 0,9993$
	<b>2</b>	$y = 0,9881x - 0,0716$	$R^2 = 0,9983$
	<b>3</b>	$y = 0,9425x - 0,0028$	$R^2 = 0,9948$
	<b>4</b>	$y = 0,9668x - 0,0687$	$R^2 = 0,9896$
	<b>5</b>	$y = 1,0014x - 0,2214$	$R^2 = 0,9874$
<b>CMP-30Hz-120 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9681x - 0,1002$	$R^2 = 0,9958$
	<b>2</b>	$y = 0,9976x - 0,1409$	$R^2 = 0,9982$
	<b>3</b>	$y = 0,9698x - 0,1945$	$R^2 = 0,9944$

<b>Control</b>	<b>4</b>	$y = 0,9855x - 0,1066$	$R^2 = 0,9968$
	<b>5</b>	$y = 1,0185x - 0,2751$	$R^2 = 0,9949$
	<b>1</b>	$y = 0,9317x + 0,019$	$R^2 = 0,9924$
	<b>2</b>	$y = 0,9767x - 0,1773$	$R^2 = 0,9636$
	<b>3</b>	$y = 0,9877x - 0,0973$	$R^2 = 0,9983$
	<b>4</b>	$y = 0,9791x - 0,099$	$R^2 = 0,9974$
	<b>5</b>	$y = 0,9877x - 0,1247$	$R^2 = 0,9957$

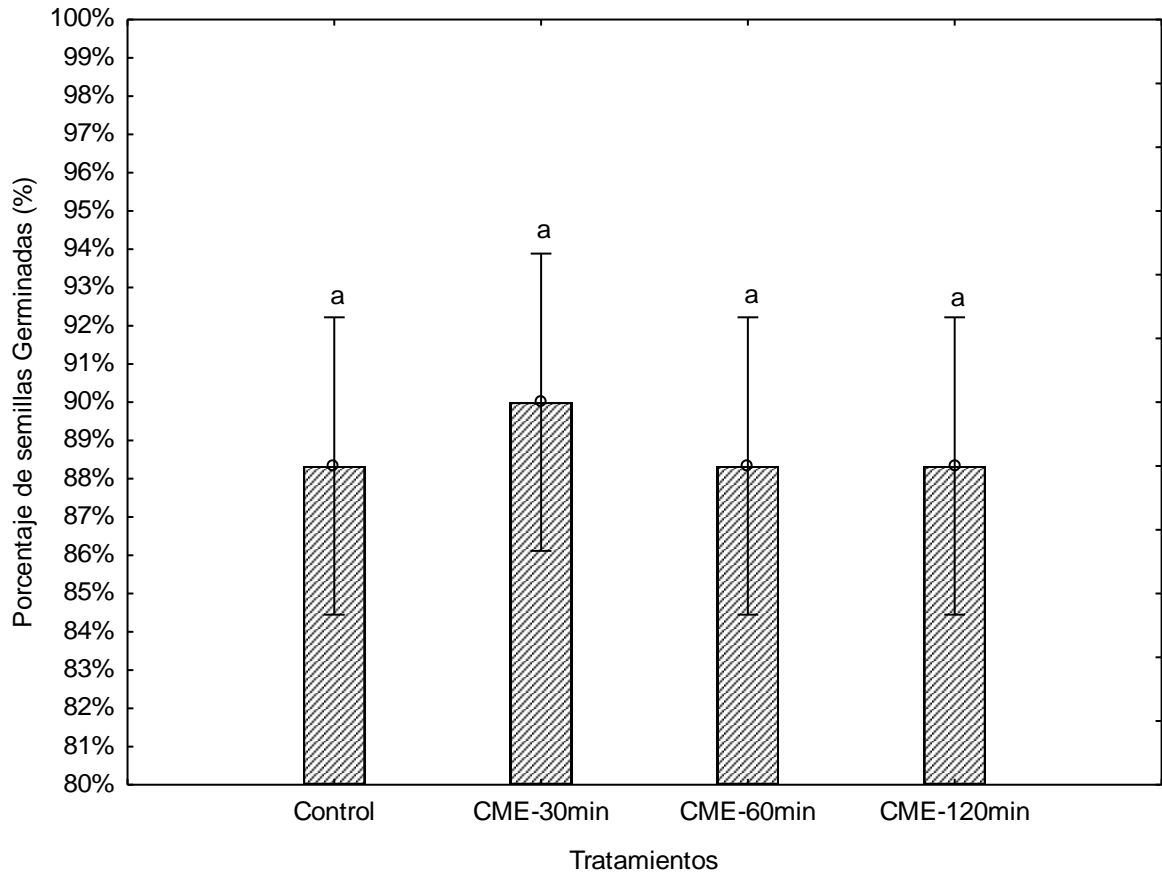
a) *Coficiente de determinación de medición de longitud manual y con ImageJ de campos de los tratamientos con campos magnéticos estáticos.*

<b>Tratamiento</b>	<b>Repetición</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>CME-30 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9753x - 0,058$	$R^2 = 0,9944$
	<b>2</b>	$y = 0,9816x - 0,0897$	$R^2 = 0,9946$
	<b>3</b>	$y = 1,0047x - 0,2853$	$R^2 = 0,991$
	<b>4</b>	$y = 0,9753x - 0,058$	$R^2 = 0,9944$
	<b>5</b>	$y = 0,9816x - 0,0897$	$R^2 = 0,9946$
<b>CME-60 min,</b>	<b>1</b>	$y = 0,988x - 0,1082$	$R^2 = 0,9967$
	<b>2</b>	$y = 0,9823x - 0,051$	$R^2 = 0,9962$
	<b>3</b>	$y = 0,9931x - 0,0458$	$R^2 = 0,9929$
	<b>4</b>	$y = 0,988x - 0,1082$	$R^2 = 0,9967$
	<b>5</b>	$y = 0,9566x + 0,034$	$R^2 = 0,986$
<b>CME-120 min</b>	<b>1</b>	$y = 0,9852x - 0,0641$	$R^2 = 0,9925$
	<b>2</b>	$y = 0,9611x - 0,0306$	$R^2 = 0,9969$
	<b>3</b>	$y = 0,9984x - 0,0858$	$R^2 = 0,9964$
	<b>4</b>	$y = 0,9852x - 0,0641$	$R^2 = 0,9925$
	<b>5</b>	$y = 1,0232x - 0,331$	$R^2 = 0,9537$
<b>Control</b>	<b>1</b>	$y = 0,9317x + 0,019$	$R^2 = 0,9924$
	<b>2</b>	$y = 0,9767x - 0,1773$	$R^2 = 0,9636$
	<b>3</b>	$y = 0,9877x - 0,0973$	$R^2 = 0,9983$
	<b>4</b>	$y = 0,9791x - 0,099$	$R^2 = 0,9974$
	<b>5</b>	$y = 0,9877x - 0,1247$	$R^2 = 0,9957$

**Figura 17**

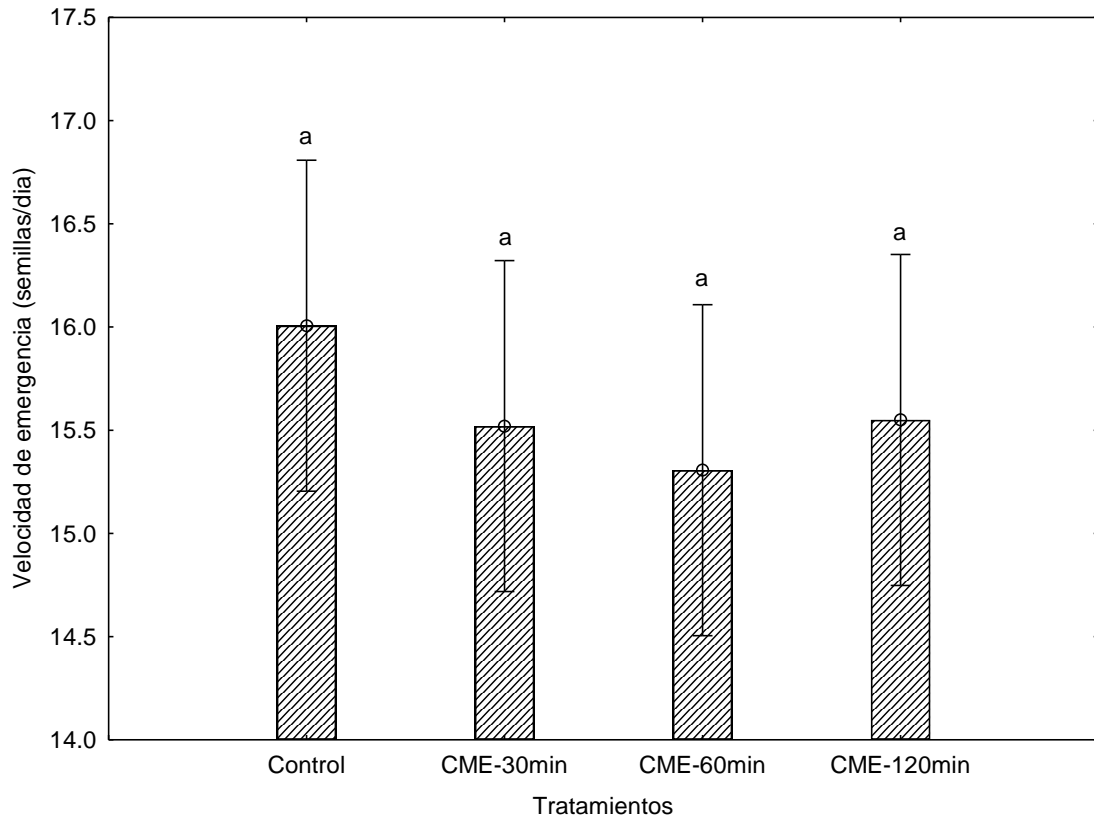
*Gráfico de barras de porcentaje de germinación de semillas de maíz morado variedad*

*INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*



**Figura 18**

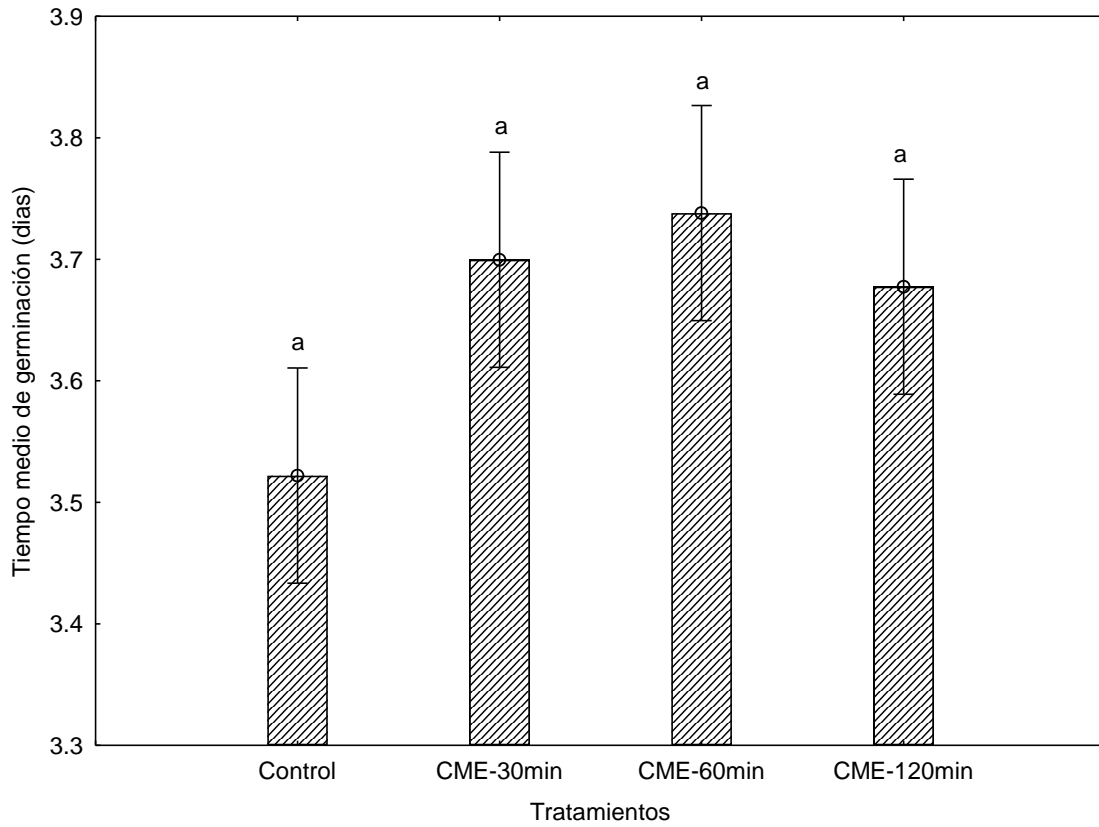
*Gráfico de barras velocidad de emergencia de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*





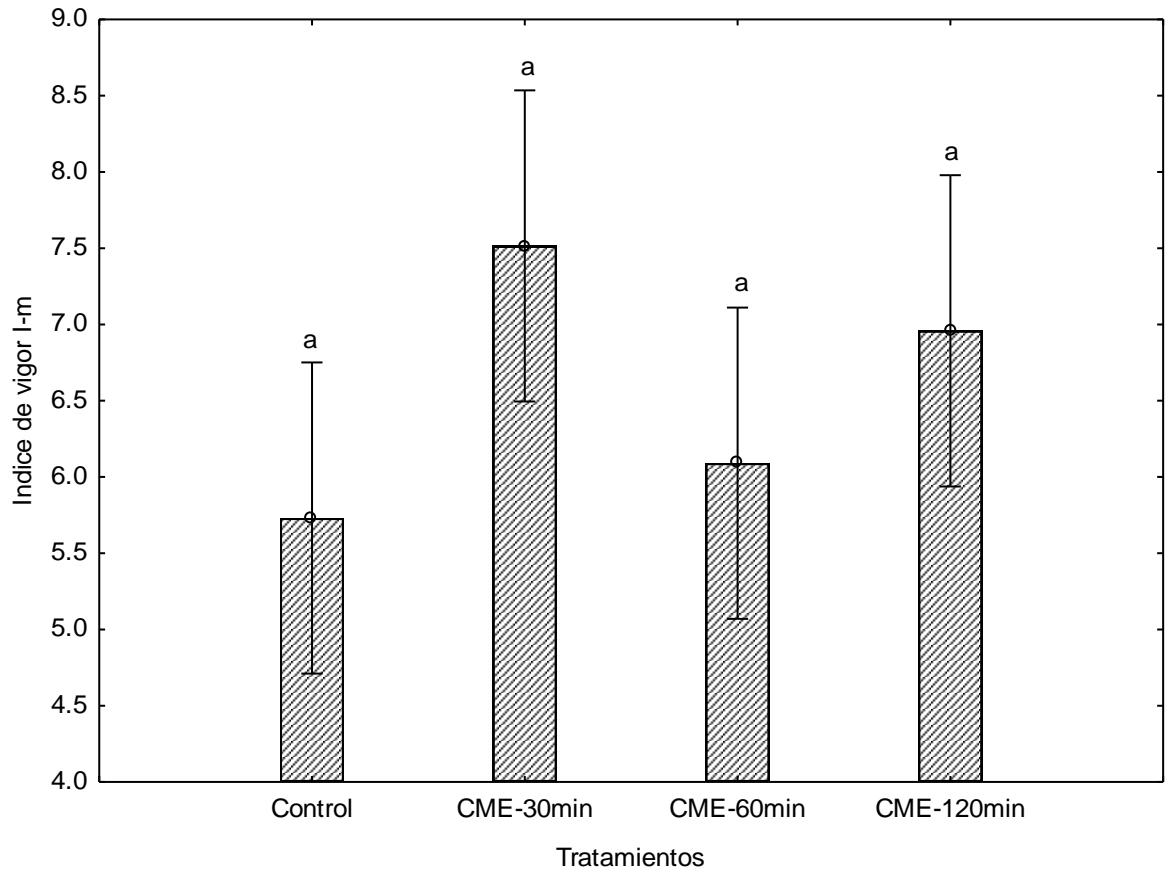
**Figura 19**

*Gráfico de barras de tiempo medio de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*



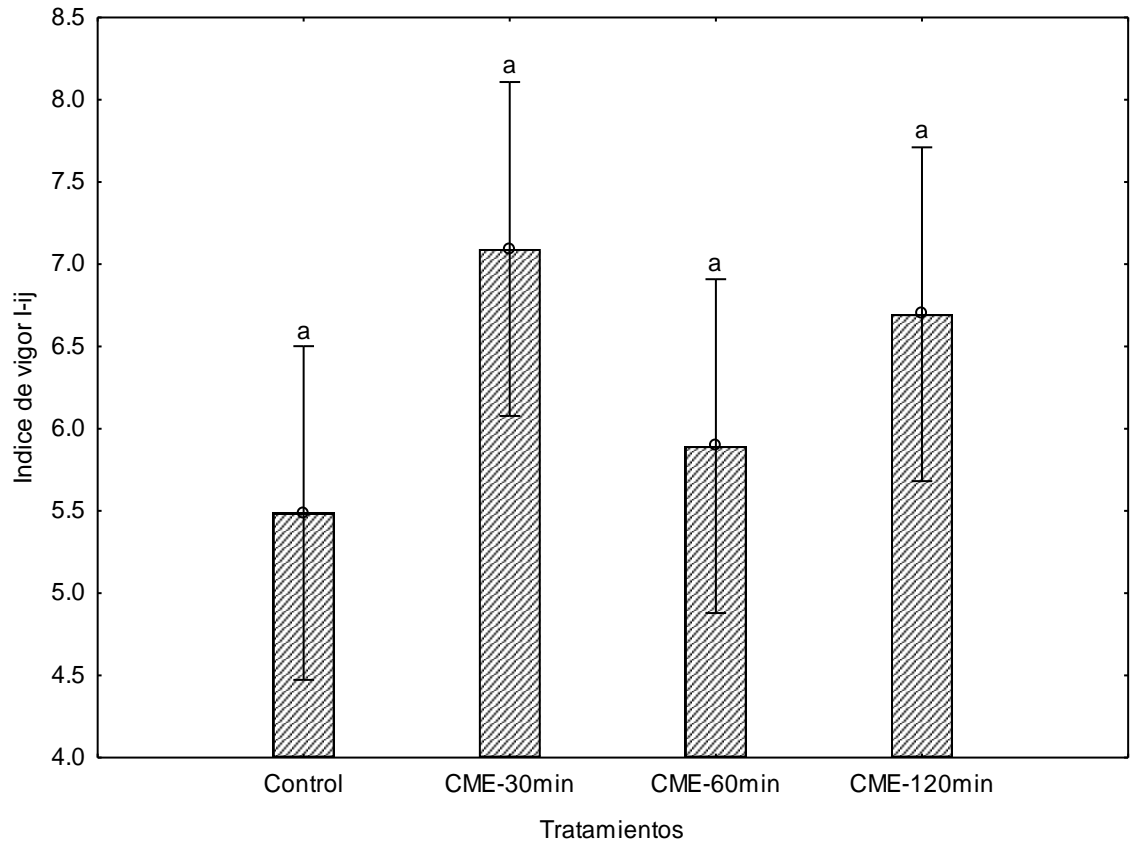
**Figura 20**

*Gráfico de barras de índice de vigor I-manual de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*



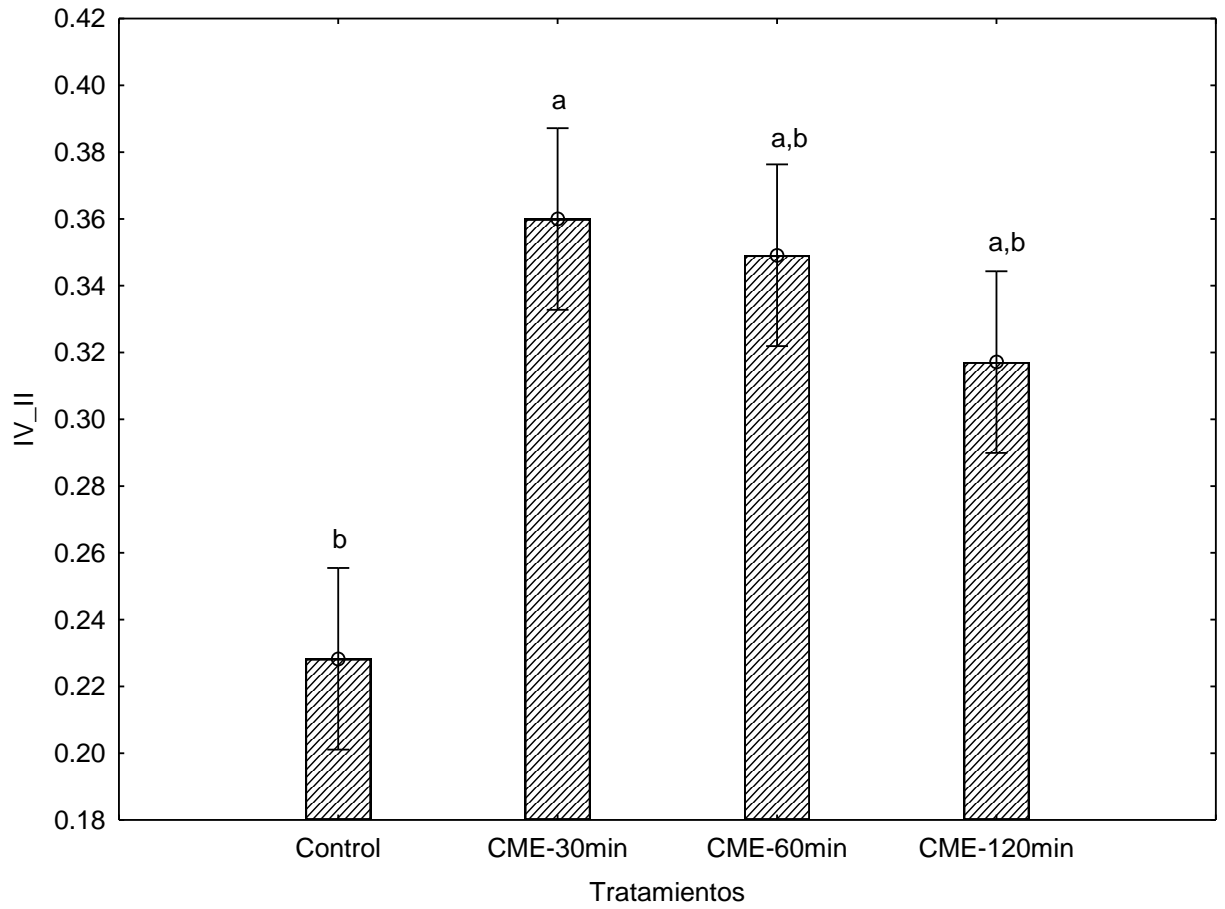
**Figura 21**

*Gráfico de barras de índice de vigor I-ij de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estático.*



**Figura 22**

*Gráfico de barras de índice de vigor II de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos estáticos.*



**Tabla 7***Test de normalidad de Shapiro Wilk para campos magneticos estaticos.*

Variable	Shapiro Wilk	
	W	p
<b>Porcentaje de Semillas germinadas (%)</b>	0,88448	0,02132
<b>Velocidad de emergencia</b>	0,96701	0,69100
<b>Tiempo medio de germinación</b>	0,97177	0,79166
<b>Índice de vigor I-m</b>	0,91211	0,06992
<b>Índice de vigor I-ij</b>	0,91098	0,06655
<b>Índice de vigor II</b>	0,88793	0,02464

*Nota.* De acuerdo a estos resultados la Velocidad de emergencia, Tiempo medio de germinación e Índice de vigor I-m e Índice de vigor I-ij tienen un comportamiento normal, por ello se aplicará ANOVA y Tukey; mientras que el Porcentaje de semillas germinadas e índice de vigor II tienen un comportamiento no normal por lo que se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

**Tabla 8***ANOVA o Kruskal-Wallis.*

Porcentaje de semillas germinadas.

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	43,50	8,70
<b>CME-30min</b>	5	64,50	12,90
<b>CME-60min</b>	5	43,50	8,70
<b>CME120min</b>	5	58,50	11,70

Kruskal-Wallis test:  $H(3, N=20) = 2.033803$   $p = .5654$ 

Velocidad de emergencia.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>de Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Tratamientos</b>	3	1,301	0,434	0,135	0,937747
<b>Error</b>	16	51,419	3,214		
<b>Total</b>	19	52,720			

Tiempo medio de germinación.

<b>Fuente de Variación</b>	<b>de Grados de Libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>de Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	3	0,1351	0,0450	1,149	0,359804
<b>Error</b>	16	0,6273	0,0392		
<b>Total</b>	19	0,7623			

Índice de vigor I – m

<b>Fuente de Variación</b>	<b>de Grados de Libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>de Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	3	9,8910	3,2970	0,6333	0,604247
<b>Error</b>	16	83,3009	5,2063		
<b>Total</b>	19	93,1920			

Índice de vigor I – ij

<b>Fuente de Variación</b>	<b>de Grados de Libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>de Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tratamientos</b>	3	8,0523	2,6841	0,5213	0,673719
<b>Error</b>	16	82,3835	5,1490		
<b>Total</b>	19	90,4358			

Índice de vigor II.

Tratamientos	N	Suma de rangos	Rango medio
Control	5	22,00	4,40
CME-30min	5	73,00	14,60
CME-60min	5	65,00	13,00
CME120min	5	50,00	10,00

Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 20) = 8.645714 p =.0344

**Tabla 9**

*Tukey para porcentaje de semillas germinadas; velocidad de emergencia; tiempo medio de germinacion; indice de vigor I - manual; indice de vigor I - ij y indice de vigor II.*

**Multiple Comparisons p values (2-tailed); IV\_II (Datos CME) Independent (grouping) variable:**  
**Tratamientos Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 20) =8.645714 p =.0344**

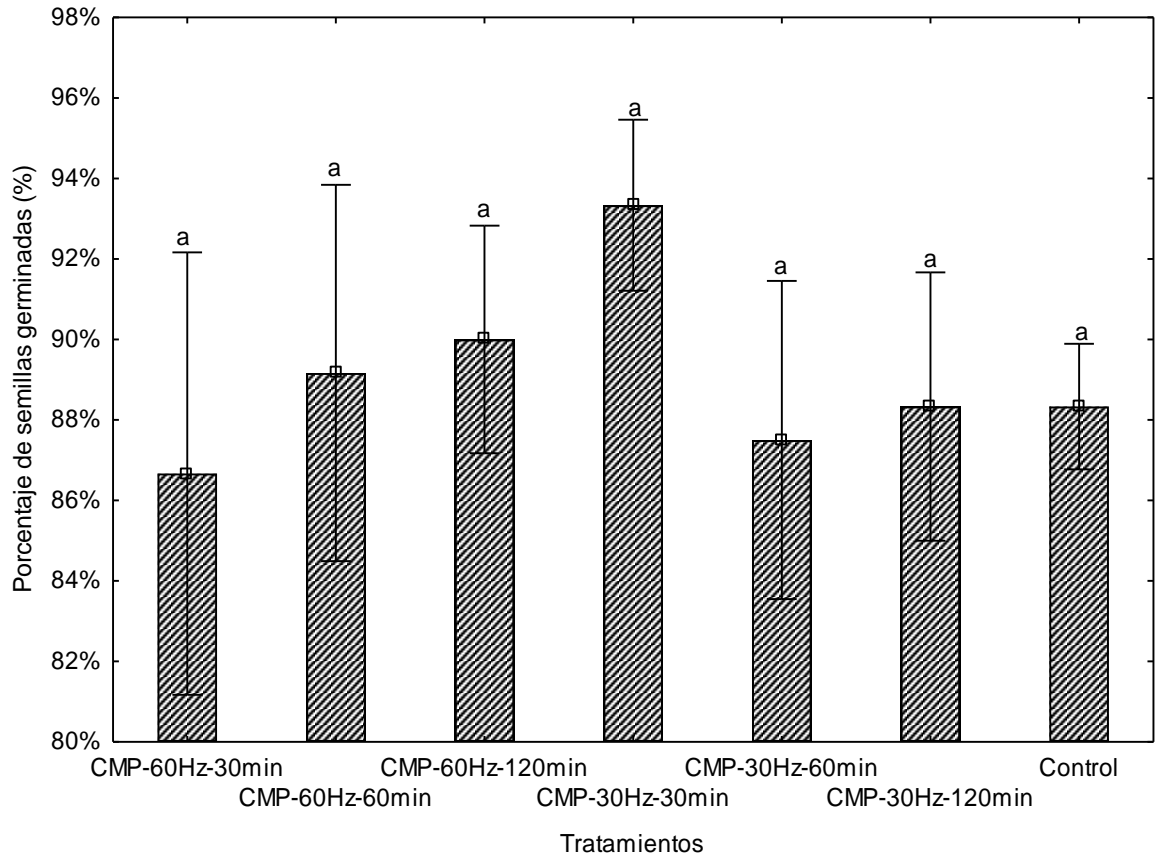
	Control - R:4.4000	CME-30min - R:14.600	CME-60min - R:13.000	CME-120min - R:10.000
Control		0,038457	0,129218	0,806886
CME-30min	0,038457		1,000000	1,000000
CME-60min	0,129218	1,000000		1,000000
CME-120min	0,806886	1,000000	1,000000	



**Figura 23**

*Gráfico de barras de porcentaje de germinación de semillas de maíz morado variedad*

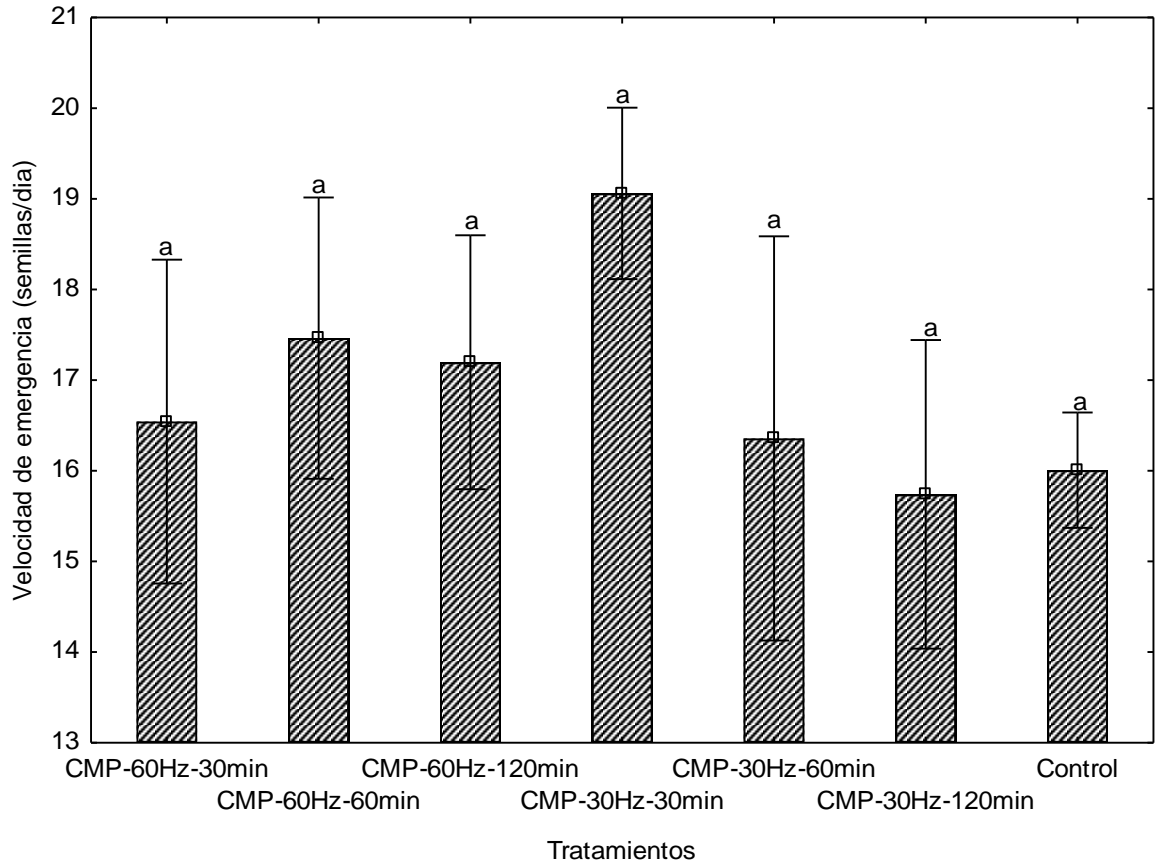
*INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



**Figura 24**

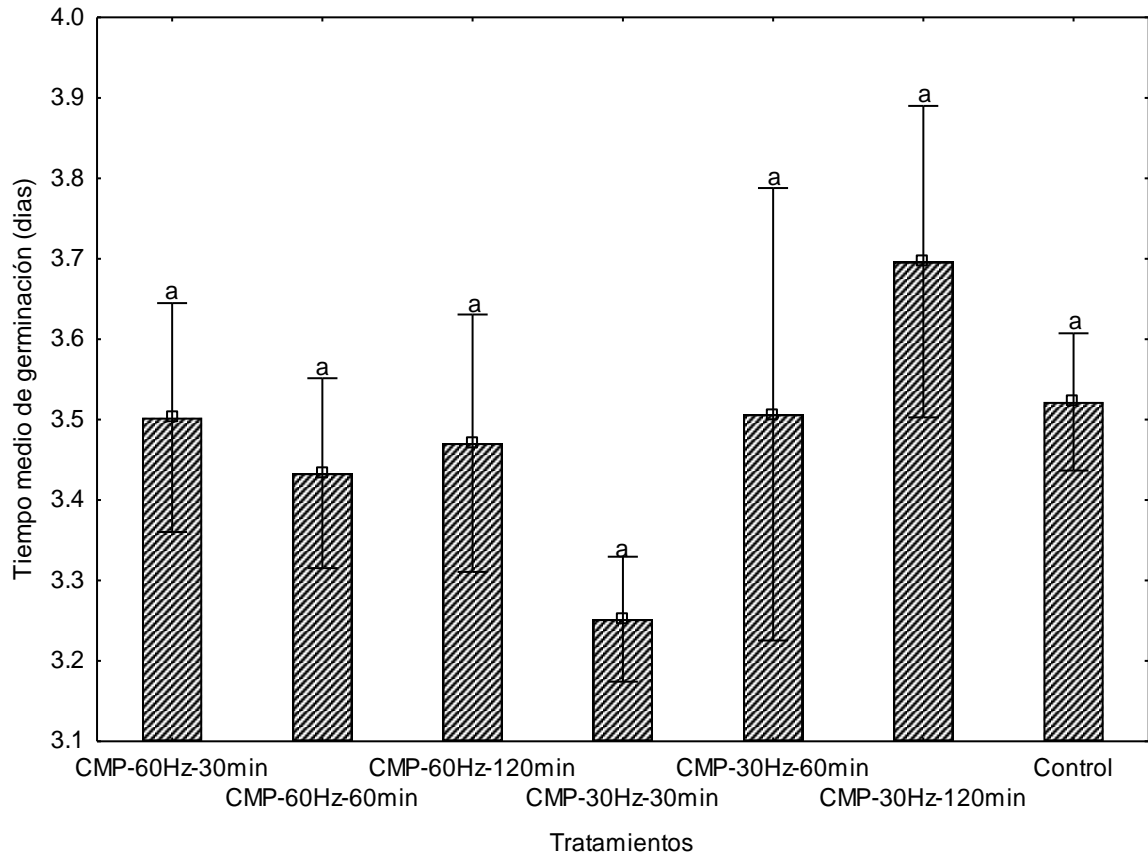
*Gráfico de barras de velocidad de emergencia de semillas de maíz morado variedad*

*INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



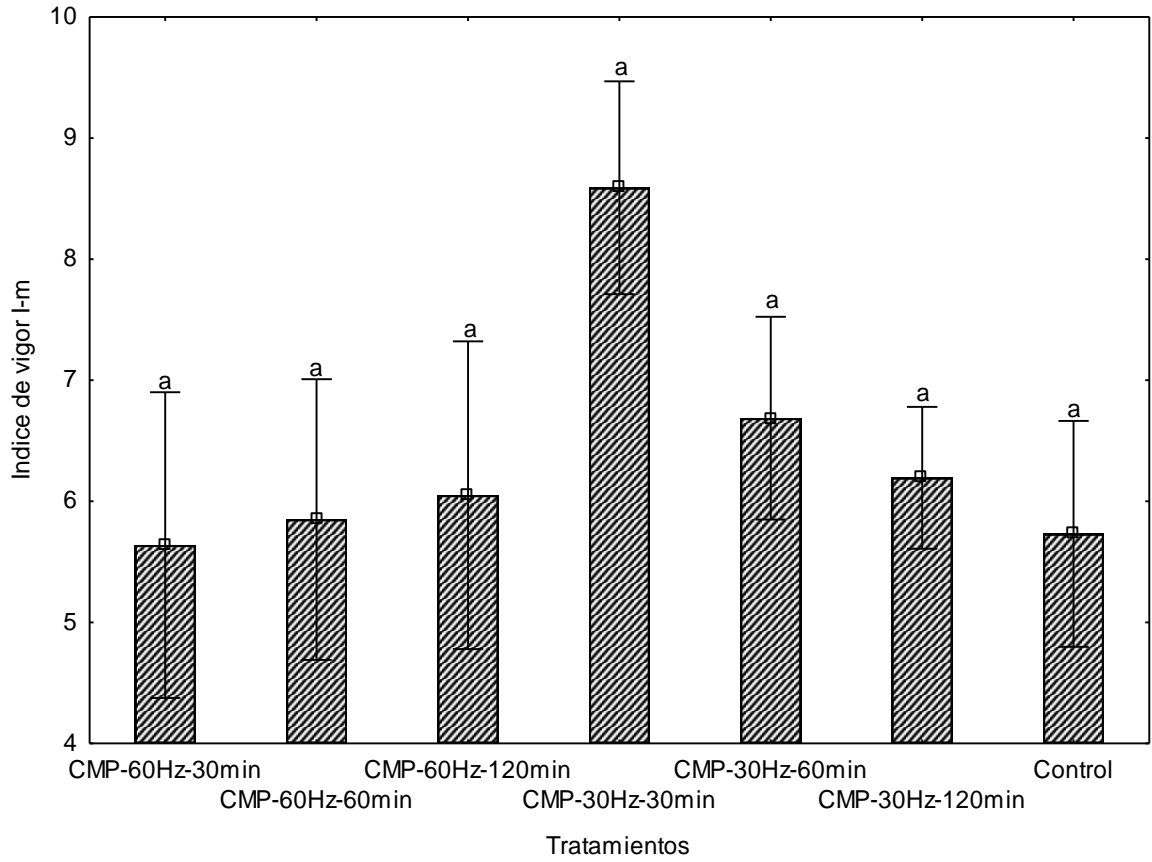
**Figura 25**

*Gráfico de barras de tiempo medio de germinación de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



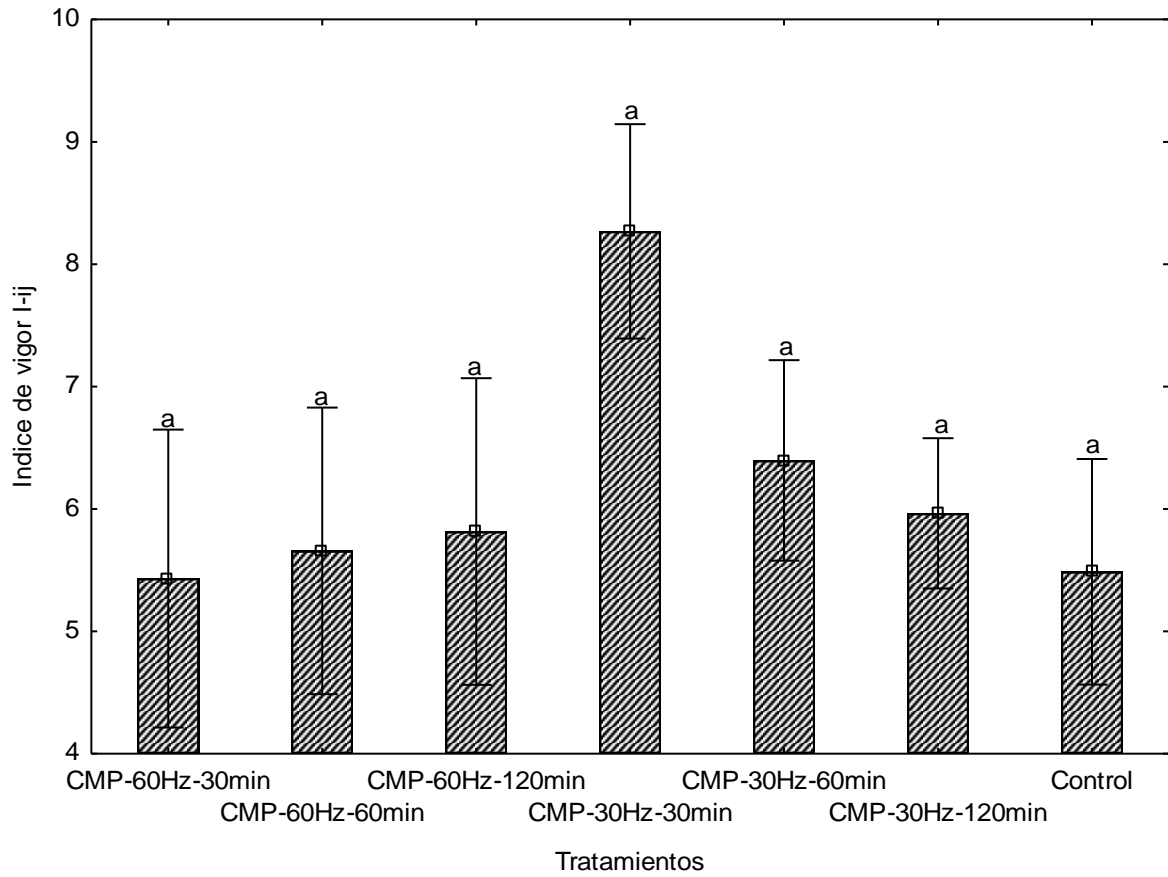
**Figura 26**

*Gráfico de barras de índice de vigor I-manual de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



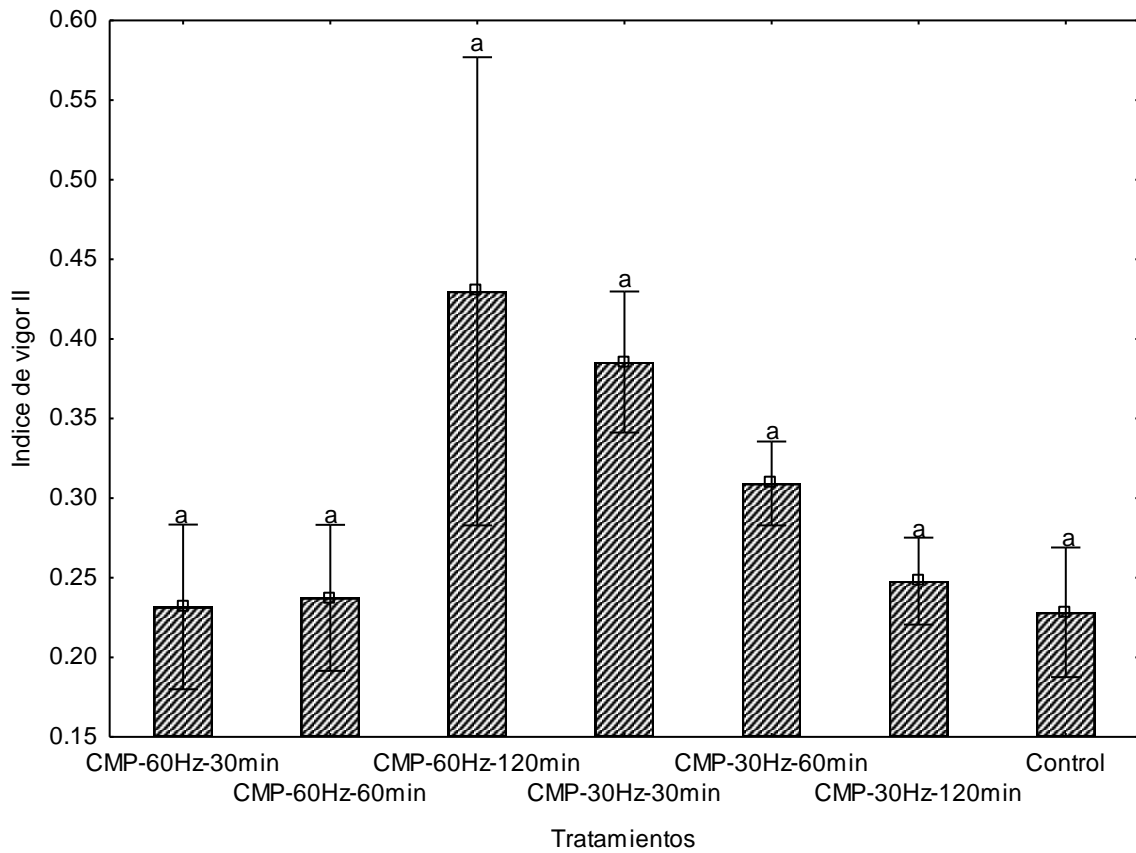
**Figura 27**

*Gráfico de barras de índice de vigor I-ij de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



**Figura 28**

*Gráfico de barras de índice de vigor II de semillas de maíz morado variedad INIA 601 tratadas con campos magnéticos pulsados.*



**Tabla 10**

*Test de normalidad de Shapiro Wilk para campos magnéticos pulsados.*

<b>Variable</b>	<b>Shapiro Wilk</b>	
	<b>W</b>	<b>p</b>
<b>Porcentaje de Semillas germinadas (%)</b>	0,89024	0,00218
<b>Velocidad de emergencia</b>	0,91284	0,00891
<b>Tiempo medio de germinación</b>	0,85556	0,00031
<b>Índice de vigor I-m</b>	0,92939	0,02684
<b>Índice de vigor I-ij</b>	0,92691	0,02267
<b>Índice de vigor II</b>	0,78398	0,00001

*Nota.* De acuerdo a estos resultados ninguna variable tiene un comportamiento normal, por ello se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

**Tabla 11***Kruskal Wallis.*

Porcentaje de semillas germinadas.

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	72,00	14,40
<b>CMP-60Hz-30min</b>	5	87,50	17,50
<b>CMP-60Hz-60min</b>	5	102,00	20,40
<b>CMP-60Hz-120min</b>	5	95,50	19,10
<b>CMP-30Hz-30min</b>	5	117,00	23,40
<b>CMP-30Hz-60min</b>	5	81,00	16,20
<b>CMP-30Hz-120min</b>	5	75,00	15,00

Kruskal-Wallis test:  $H(6, N=35) = 3.065925$   $p = .8005$ 

Velocidad de emergencia.

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	58,00	11,60
<b>CMP-60Hz-30min</b>	5	87,00	17,40
<b>CMP-60Hz-60min</b>	5	103,50	20,70
<b>CMP-60Hz-120min</b>	5	97,50	19,50
<b>CMP-30Hz-30min</b>	5	126,50	25,30
<b>CMP-30Hz-60min</b>	5	86,50	17,30
<b>CMP-30Hz-120min</b>	5	71,00	14,20

Kruskal-Wallis test:  $H(6, N=35) = 5.672860$   $p = .4608$



Tiempo medio de germinación.

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	113,50	22,70
<b>CMP-60Hz-30min</b>	5	96,50	19,30
<b>CMP-60Hz-60min</b>	5	87,50	17,50
<b>CMP-60Hz-120min</b>	5	89,50	17,90
<b>CMP-30Hz-30min</b>	5	46,50	9,30
<b>CMP-30Hz-60min</b>	5	75,50	15,10
<b>CMP-30Hz-120min</b>	5	121,00	24,20

Kruskal-Wallis test:  $H(6, N=35) = 6.991751$   $p = .3216$

Índice de vigor I – manual.

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	72,00	14,40
<b>CMP-60Hz-30min</b>	5	73,00	14,60
<b>CMP-60Hz-60min</b>	5	79,00	15,80
<b>CMP-60Hz-120min</b>	5	89,00	17,80
<b>CMP-30Hz-30min</b>	5	131,00	26,20
<b>CMP-30Hz-60min</b>	5	99,00	19,80
<b>CMP-30Hz-120min</b>	5	87,00	17,40

Kruskal-Wallis test:  $H(6, N=35) = 4.773333$   $p = .5732$

Índice de vigor I – ij.

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	72,00	14,40
<b>CMP-60Hz-30min</b>	5	72,00	14,40
<b>CMP-60Hz-60min</b>	5	82,00	16,40
<b>CMP-60Hz-120min</b>	5	90,00	18,00
<b>CMP-30Hz-30min</b>	5	130,00	26,00
<b>CMP-30Hz-60min</b>	5	96,00	19,20
<b>CMP-30Hz-120min</b>	5	88,00	17,60

Kruskal-Wallis test:  $H(6, N=35) = 4.480000$   $p = .6120$

Índice de vigor II

<b>Tratamientos</b>	<b>N</b>	<b>Suma de rangos</b>	<b>Rango medio</b>
<b>Control</b>	5	62,00	12,40
<b>CMP-60Hz-30min</b>	5	68,00	13,60
<b>CMP-60Hz-60min</b>	5	73,00	14,60
<b>CMP-60Hz-120min</b>	5	115,00	23,00
<b>CMP-30Hz-30min</b>	5	135,00	27,00
<b>CMP-30Hz-60min</b>	5	106,00	21,20
<b>CMP-30Hz-120min</b>	5	71,00	14,20

Kruskal-Wallis test:  $H(6, N=35) = 9.188571$   $p = .1633$

**Figura 29**

*Soporte de vidrio 24 semillas de maíz morado variedad INIA 601 en el prototipo encargado de generar campos magnéticos estáticos.*



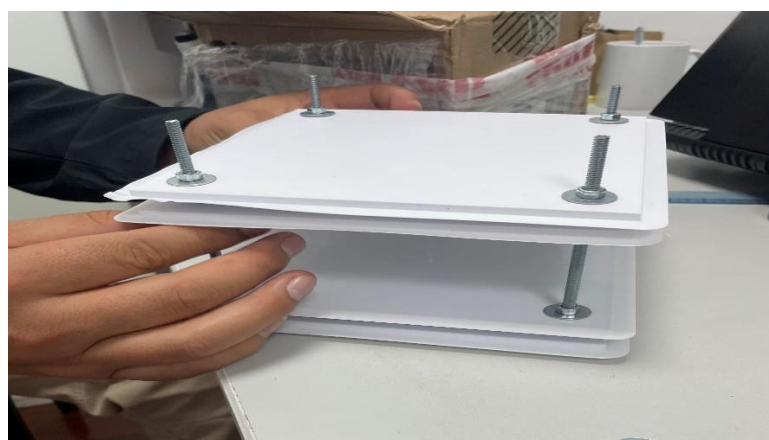
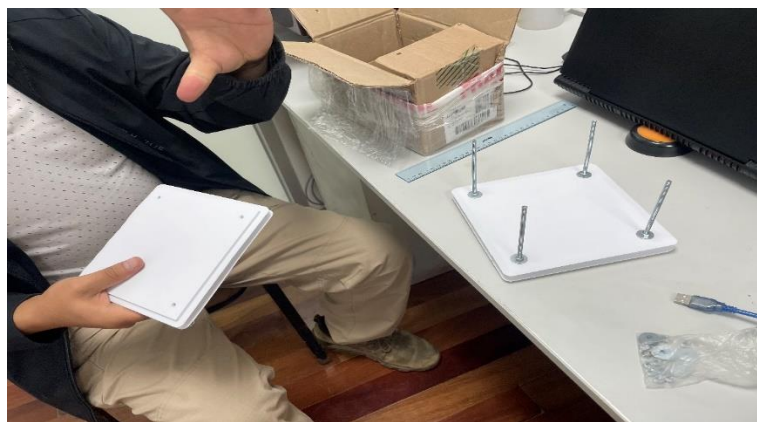
**Figura 30**

*Semillas hidratadas en el día 2.*



**Figura 31**

*Armado de prototipo de campos magnéticos estáticos.*



**Figura 32**

*Medición manual de la longitud de la raíz e hipocótilo de las semillas de maíz morado germinadas.*

